

主管：中国电子科技集团公司
主办：广州通信研究所
(中国电子科技集团公司第七研究所)

编辑委员会

主任委员：韩玉辉

副主任委员：杨绍华 徐 艳

顾问：李进良 万永乐

委员（按姓氏笔画排序）：

王开华 王朝晖 刘韵洁 邬贺铨 张乃通 张忠平 李融林
杜振华 杨 骅 沈少艾 沈文明 沈 勇 肖清华 范平志
赵厚麟 赵 研 赵慧玲 高旭东 黄剑明 蒋 远 腾汉龙
谭学治

主编：刘宗祥

副主编：杨 彤

执行副主编：陈雍君

编辑：袁 婷 刘 妙 刘文竹 蔡雅安 黄颖丹
杨思颖 那振宇

美编：吴 博 陈 林

电话：020-84119959, 84203943, 84118643

投稿邮箱：editor@mbcom.cn

投稿咨询：020-84118640

广告部：曾 琳

电话：020-84267051, 84119345

电子邮箱：guanggao@mbcom.cn

读者服务部：李宝佳

电话：020-84118646

电子邮箱：faxing@mbcom.cn

网址：www.mbcom.cn

地址：广州市新港中路 381 号

邮政编码：510310

出版：《移动通信》编辑部

出版时间：每月 15 日、30 日

承印单位：广州百思得彩印有限公司

中国标准连续出版物号：ISSN 1006-1010
CN 44-1301/TN

广告经营许可证号：440000100048

出版物经营许可证：新出发粤刊批字第 009 号

发行：广东省报刊发行局

发行范围：国内外公开发行

邮发代号：46-181

国外订购处：中国图书进出口集团公司出口部（北京 88-E 信箱）

国外发行代号：BM1010T

订阅：全国各地邮局

（如邮局订阅有困难，可直接与读者服务部联系）

定价：每期 12 元，全年 288 元（含邮费）

开户银行：建行广州赤岗支行

账号：4400 1431 9010 5022 8568

户名：中国电子科技集团公司第七研究所

法律顾问：广东金轮律师事务所 伍伟良律师

版权所有 未经书面同意 不得转载

移动通信
MOBILE COMMUNICATIONS

2015 年第 12 期
总第 394 期
(1977 年创刊 第 39 卷)


- ☐ 中国期刊方阵双效期刊
- ☐ 工业和信息化部精品期刊
- ☐ 中国科技核心期刊
- ☐ 中国科技论文统计源刊

高级顾问委员会

工业和信息化部通信发展司司长	闻 库
中国电子科技集团公司第 54 所首席专家、院士	孙 玉
浙江逸畅通信技术有限公司董事长	高保证
杭州紫光网络技术有限公司董事长	封建华

(排名不分先后)

“杰赛科技技术创新”专栏协办单位

 广州杰赛科技股份有限公司
GCI SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD.

征 稿 简 则

本刊园地公开，凡具原创性、与移动通信有关之技术研究、行业分析、方案探讨等，均欢迎赐稿。来稿以行文简洁、结构严谨、观点独到为佳，撰写体例请参考本刊最新期刊，并请具齐作者简介、联系方法及清晰近照。

为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊已被国内外文献索引、文摘、全文数据库和出版网站收录，作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如有异议，请在来稿时声明，本刊将做适当处理。

《移动通信》编辑部



9 771006 1101152

网规网优

- 5 LTE 中 PDCCH CCE 利用率影响因素探讨
史光耀 杨秀敏 黄辉
- 10 基于 TDD-LTE 系统 PDSCH 下行功控策略的研究
石会路 钟东明 袁瑞民
- 15 2.3G TD-LTE 和联通 WCDMA 系统合路互调干扰问题研究
郭希蕊 张涛
- 21 网络规划阶段 RNC 及载波扩容预测方法研究
袁栋
- 25 移动通信基站天线互调的参数化分析方法 吴卫华
- 29 一种基于多信道协作的 Ad hoc 组网的 MAC 实现
余红明 滕潢龙

“杰赛科技技术创新”专栏

- 33 多径对室内外穿透损耗测试的影响
李建中 葛慧明

研究与探讨

- 37 基于 TRIZ 和专利规避的智能家居控制方案研究
周善明 陈维斌 宋进 等
- 43 基于逆向工程的 4G 标准化设计系统研究
戚娜 李刚
- 48 基于 P2010 的 ReWorks 操作系统应用及分析
雷鹏 生盛义
- 54 基于小波分析的主动预警式网络信息安全运维
林征 李洋
- 58 大数据分析场景下分布式数据库技术的应用
齐磊

设计与实现

- 63 LTE-A 载波聚合终端一致性测试 TTCN-3 代码接口设计
金毅敦 王晰 陈晓忠
- 68 一种基于超长序列扩频调制解调技术的实现
余红明 滕潢龙
- 72 基于 Tetrolet 变换和支持向量机的积雨云检测研究
田文哲 符冉迪 金炜 等
- 78 自动化测试框架在漫游清算系统中的应用
何莹 彭达

业务与运营

- 84 电信运营商的 IDC 业务转型浅谈 甘志辉 陈博
- 88 一种基于排队机的智慧营销系统的设计与实现
王波 陈标
- 92 KPI 与业务体验相结合的移动宽带客户感知评价体系研究
李治国

广告索引

- | | |
|-------|-----------------------|
| 封二 | 2015 LTE 网络创新研讨会征文启事 |
| 封三 | 《移动通信》用图规范、2015 年专题计划 |
| 封底 | 2015 LTE 网络创新研讨会 |
| 第 4 页 | 罗德与施瓦茨(中国)科技有限公司 |

CONTENTS

Network Planning and Optimization

- 5 Discussion on Influencing Factors of LTE PDCCH CCE Utilization
SHI Guang-yao YANG Xiu-min HUANG Hui
- 10 Research on PDSCH Downlink Power Allocation Strategy Based on TDD-LTE System
SHI Hui-lu ZHONG Dong-ming YUAN Rui-min
- 15 Research on Intermodulation Interference Between 2.3G TD-LTE and China Unicom WCDMA Systems
GUO Xi-rui ZHANG Tao
- 21 Research on Prediction Method of RNC and Carrier Expansion at Stage of Network Planning
YUAN Dong
- 25 Parametric Analysis Method on Passive Intermodulation of Mobile Communication Base Station Antenna
WU Wei-hua
- 29 MAC Implementation of Ad Hoc Network Based on Multi-Channel Collaboration
YU Hong-ming TENG Huang-long

Special Column of GCI Technology Innovation

- 33 Impact of Multipath on Indoor and Outdoor Penetration Loss Test
LI Jian-zhong GE Hui-ming

Research and Discussion

- 37 Scheme Research on Smart Home Control Based on Both TRIZ and Patent Evading
ZHOU Shan-ming CHEN Wei-bin SONG Jin et al
- 43 Research on 4G Standardized Design System Based on Reverse Engineering
QI Na LI Gang
- 48 Application and Analysis of ReWorks Operating System Based on P2010
LEI Peng SHENG Sheng-yi
- 54 Active Warning Network Information Security Operation Based on Wavelet Analysis
LIN Zheng LI Yang
- 58 Application of Distributed Database in the Scene of Big Data Analysis
QI Lei

Design and Implementation

- 63 TTCN-3 Code Interface Design of Uniformity Test for LTE-A Carrier Aggregation User Equipment
JIN Yi-dun WANG Xi CHEN Xiao-zhong
- 68 Implementation of Modulation and Demodulation Based on Long Sequence Spread Spectrum Communication
YU Hong-ming TENG Huang-long
- 72 Research on Cumulonimbus Detection Based on Both Tetrolet Transform and Support Vector Machine
TIAN Wen-zhe FU Ran-di JIN Wei et al
- 78 Application of Automation Test Framework in Roaming Clearing System
HE Ying PENG Da

Business and Operation

- 84 Discussion on Transformation of Telecom Operators' IDC Services
GAN Zhi-hui CHEN Bo
- 88 Design and Implementation of Intelligent Marketing System Based on Queuing-Machine
WANG Bo CHEN Biao
- 92 Research on Perception Evaluation System of Mobile Broadband Customer Based on KPI and Business Experience
LI Zhi-guo

LTE中PDCCH CCE利用率影响因素探讨

史光耀, 杨秀敏, 黄辉

(中国电信股份有限公司贵州分公司, 贵州 贵阳 550001)

【摘 要】 主要探讨了LTE FDD中物理下行控制信道的控制信道单元利用率的各种影响因素, 并阐述了PDCCH CCE高利用率分析流程以及研究PDCCH CCE利用率的意义, 最后对现网案例进行了具体分析。

【关键词】 物理下行控制信道 控制信道单元 利用率

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.001 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0005-05
引用格式: 史光耀, 杨秀敏, 黄辉. LTE中PDCCH CCE利用率影响因素探讨[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 5-9.

Discussion on Influencing Factors of LTE PDCCH CCE Utilization

SHI Guang-yao, YANG Xiu-min, HUANG Hui

(China Telecom Co., Ltd., Guizhou Branch, Guiyang 550001, China)

【Abstract】 Various influencing factors of physical downlink control channel (PDCCH) control channel element (CCE) utilization in LTE FDD system were discussed. In addition, high utilization analysis process and utilization research significance of PDCCH CCE were elaborated. Finally, a case of existing network analyzed specifically.

【Key words】 physical downlink control channel (PDCCH) control channel element (CCE) utilization

1 引言

LTE中PDCCH (Physical Downlink Control Channel, 物理下行控制信道) 的主要作用是承载DCI (Downlink Control Information, 下行控制信息), DCI中包含了UE (User Equipment, 用户设备) 所需的子帧中的下行资源分配信息、上行资源赋予信息以及如何进行解码等信息。UE下载数据需要先读取PDCCH以便获知下行数据所在资源块位置及大小; UE上传数据得先由PDCCH中DCI指示为其分配了资源块之后才能上传, 可见PDCCH在LTE中具有重要的作用。PDCCH实质为一个大的信道, 该信道中有多个

PDCCH候选, 当仅考虑专用UE信息时, 每个PDCCH候选对应一个UE前向连接, 占用1/2/4/8个CCE (Control Channel Element, 控制信道单元) (CCE是PDCCH的最小资源单位), 因此PDCCH容量实际上反映了小区能容纳的UE前向连接数, 对该PDCCH容量的资源利用率情况用指标PDCCH CCE利用率来衡量。

2 PDCCH CCE利用率影响因素分析

2.1 PDCCH CCE利用率定义

PDCCH CCE利用率公式如下:

$$\text{PDCCH CCE利用率} = \frac{\text{PDCCH信道占用CCE个数}}{\text{PDCCH信道可分配的CCE个数}} \quad (1)$$

收稿日期: 2015-04-14

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

其中，分母“PDCCH信道可分配的CCE个数=每TTI PDCCH CCE可用数目×统计周期内TTI数”，具体计算方法为(由于带宽、MIMO符号数决定的REG个数-PCFICH占用的4个REG-PHICH占用的REG)/9；分子“PDCCH信道占用CCE个数”是指小区实际所使用的CCE数量（公共信令使用的PDCCH CCE个数、上行调度使用的PDCCH CCE个数及下行调度使用的PDCCH CCE个数之和）。

2.2 影响PDCCH CCE利用率因素分析

在分析PDCCH CCE利用率之前，有必要对一个子帧中的控制区域和数据区域进行分析，如图1所示：

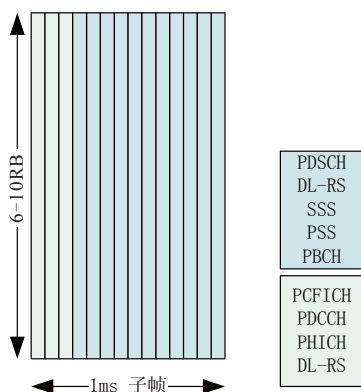


图1 子帧内的控制区域和数据区域示意图

其中，控制区域包含PCFICH（Physical Control Format Indicator Channel，物理控制格式指示信道）、PDCCH、PHICH（Physical Hybrid Automatic Repeat Indicator Channel，物理混合自动重传指示信道）、DL-RS（Downlink-Reference Signal，下行参考信号）；数据区域包含PDSCH（Physical Downlink Shared Channel，物理下行链路共享信道）、DL-RS、SSS（Secondary Synchronization Signal，从同步信号）、PSS（Primary Synchronization Signal，主同步信号）、PBCH（Physical Broadcast Channel，物理广播信道）。

根据前述PDCCH CCE利用率指标公式定义，该指标的高低与其可分配的CCE数及实际占用的CCE数有关，下面从以下2个方面进行分析：

（1）可分配CCE数量影响因素

◆时域控制格式指示设置

CFI（Control Format Indicator，控制格式指示）指示了一个子帧内可用于控制信道的符号数。当系统带宽大于10RB时，CFI指示的可用于PDCCH的符号数为1/2/3；当系统带宽小于等于6RB至10RB时，CFI指示的可用于PDCCH的符号数为2/3/4。

显然，CFI=1比CFI=2占用的控制区域符号数小，在同一系统带宽以及相同PHICH GROUP数量前提下可分配CCE数量小，即PDCCH容量较小。

◆频域系统带宽

根据CCE的定义：包含36个RE（Resource Element，资源单元）的一个连续资源块，显然系统带宽越大可用的CCE也就越多。

◆PHICH duration设置

在FDD（Frequency Division Duplex，频分双工）制式下，不同的PHICH duration指示了PHICH所占用的符号数。当PHICH duration设置为normal时，非MBSFN子帧所占用符号数为1；当PHICH duration设置为extended时，非MBSFN子帧所占用符号数为3。

PHICH duration的配置限制了控制区域至少需要占用的符号数。UE是采用CFI和extended PHICH duration相比较中取其大者。例如，对于下行系统带宽大于10RB的小区而言，如果配置了extended PHICH duration，此时UE会忽略PCFICH的值而认为控制区域所占的OFDM数等于PHICH duration（即等于3）。

◆PHICH GROUP数目

每个PHICH GROUP占用3个REG（Resource Element Group，资源单元组），一个小区内可用的PHICH GROUP数的计算方式如下：

$$\text{PHICH GROUP数量 (FDD)} = \lceil N_g(N_{rb}/8) \rceil, \text{ normal cp时} \quad (2)$$

$$\text{PHICH GROUP数量 (FDD)} = 2 \times \lceil N_g(N_{rb}/8) \rceil, \text{ extended cp时} \quad (3)$$

其中， $N_g \in \{1/6, 1/2, 1, 2\}$ ； N_{rb} 表示系统下行带宽（单位为RB）。可以看出， N_g 越大，PHICH GROUP数量也越大，相应的控制区域内可用于PDCCH的资源数就越少。

上述中提及的PHICH duration、 N_g 均包含在

PHICH CONFIG里，在MIB（Master Information Block，主信息块）中发送。

（2）PDCCH实际占用CCE数量影响因素

影响PDCCH实际占用CCE数量的因素与用户多少、用户使用的DCI格式、用户所处的环境等有关。表1是PDCCH不同格式下所支持的比特数，它反映了不同格式的DCI至少需要何种格式的PDCCH承载。

表1 PDCCH不同格式设置

PDCCH格式	CCE聚合级别	对应REG数量	PDCCH bits数量
0	1	9	72
1	2	18	144
2	4	36	288
3	8	72	576

如果一个用户的DCI是72bits，则其只需要使用PDCCH格式为0的即可，即只占用1个CCE就够了。而另一个用户的DCI长度为130，则需要使用PDCCH格式为1的，即占用2个CCE。显然小区下若使用PDCCH格式1的用户较多，则占用CCE相对较多。

针对同一格式的DCI，如果用户所处的无线环境较差，则需要较高的CCE聚合级别来发送，以抵抗差的无线环境，提高PDCCH解调性能。较高的CCE聚合级别意味着使用较多的CCE，因此若在无线环境较差下的用户较多，则占用CCE相对较多。

若eNB下等待调度的用户多，则相应的DCI需求也多，占用CCE相对较多。

3 PDCCH CCE高利用率分析流程

PDCCH CCE利用率高、低场景分析如表2所示。

在日常优化中，当发现PDCCH CCE利用率较高时，具体分析如图2所示。

对于PDCCH CCE高利用率，一方面，从无线参数入手进行调整与优化，减少PDCCH CCE高利用率可能带来的分配失败；另一方面，改善无线环境，进行基站扩容或分裂。此外，还可针对用户使用的业务模型，适时打开半持续调度来降低对应的PDCCH开销。

在可用于PDCCH的CCE确定的情况下，此时如果

表2 PDCCH CCE利用率高、低场景分析

		PDCCH CCE利用率（低）	PDCCH CCE利用率（高）
小区吞吐率（低）	调度用户数（小）	少人使用	用户少，数据速率不高，但用户所处无线环境差
	调度用户数（大）	/	用户多，主要使用低速业务（如QQ）
小区吞吐率（高）	调度用户数（小）	用户少，但消耗大量网络资源（如FTP）	/
	调度用户数（大）	/	用户多，消耗适当的网络资源（典型的业务模型）

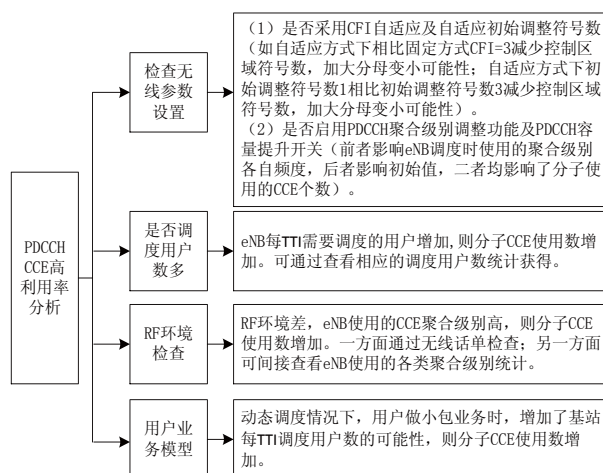


图2 PDCCH CCE高利用率分析

前向连接的用户较多，则PDCCH CCE利用率较高，反之则低，体现了控制信道的繁忙程度。

当用于控制区域的符号数增加，无形中可用于PDCCH的CCE也增加，从而PDCCH的容量增加，支持的前向连接的UE数增多，但是同一子帧内能用于用户数据传输的符号减少（即资源块减少），影响了单用户峰值吞吐量；当用于控制区域的符号数减少，则同一子帧内用于用户数据传输的资源增加，单用户峰值吞吐量随之增加。因此，需要根据具体场景，在PDCCH容量和吞吐量之间进行平衡：当网络轻载，连接用户不是瓶颈时，可以减少控制区域所占符号数，提高吞吐量；当用户多时，需要适当放宽CFI以免连接受限，当然，用于数据传输的资源就会减少，吞吐量有所降低。

4 案例分析

在对某试验网城市FDD网络性能进行分析时，尽管A、B厂家的PDCCH CCE利用率均无瓶颈，但发现A设备区域PDCCH CCE利用率明显高于B设备区域，基本上是B厂家的2倍。如图3所示：

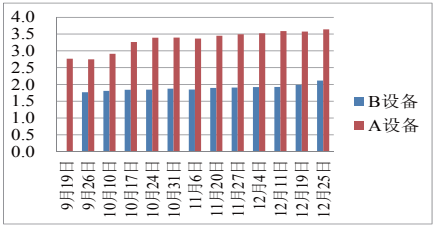


图3 统计周期内不同厂家PDCCH CCE利用率

根据现网用户发展情况来看，由于用户量较少，在两个设备区域使用的CCE情况应该大致相同，因此把分析重点放在了分母上。首先根据统计公式比较两厂家的可用CCE数量，如图4所示：

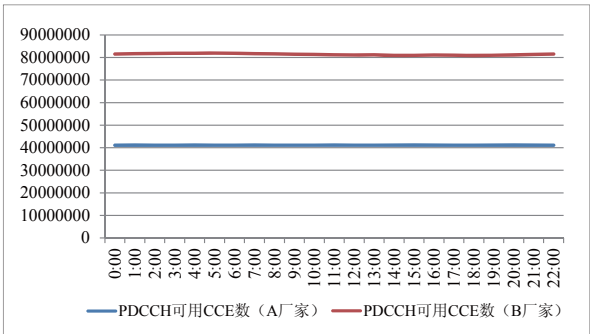


图4 统计周期内不同厂家PDCCH可用CCE数比较

可以看出，A厂家PDCCH可用CCE数量比B厂家低，且基本为2倍关系，初步判定A、B厂家该指标的差异与分母的可用CCE数量有关。根据前述可分配CCE数量分析，重点检查有关无线参数配置。目前A、B厂家都配置为PDCCH符号自适应，如图5和图6所示。

CCE比例调整开关	SFN PDCCH DCS门限 (0.5分贝)	PDCCH初始OFDM符号数	PDCCH虚拟加载的CCE加载比例系数 (%)	PDCCH占用OFDM符号数动态调整开关
开	40	1	0	开
开	40	1	0	开
开	40	1	0	开

图5 A厂家CFI设置方式

其他无线参数如系统带宽、PHICH CONFIG配置相同。进一步深入分析，即便两厂家均采用了CFI动态调整方式在每个TTI（Transmission Time Interval，传输时间间隔）内进行调整，但也有一个调整起点设置问题，A设备厂家的调整起点是1个符号，可从图7统计看出。

B设备厂家暂无此类统计，但可从信令跟踪来看，具体如图8所示。

可以看出，B设备厂家CFI自适应调整的起始符号本身就是从2、3符号自适应，从而导致B设备可用CCE数量大于A设备，最终造成在目前负荷很轻的情况下，A厂家区域PDCCH CCE利用率大约为B设备区域的2倍。

5 结束语

在分析PDCCH CCE利用率时，除了考虑网络负荷、无线覆盖好坏等因素以外，无线参数的设置也起着至关重要的作用，需要进行多维度分析，以便在PDCCH CCE利用率处于安全值的情况下采取针对性措施提高PDCCH CCE的利用率，进而实现控制信道容量和吞吐量之间的平衡。

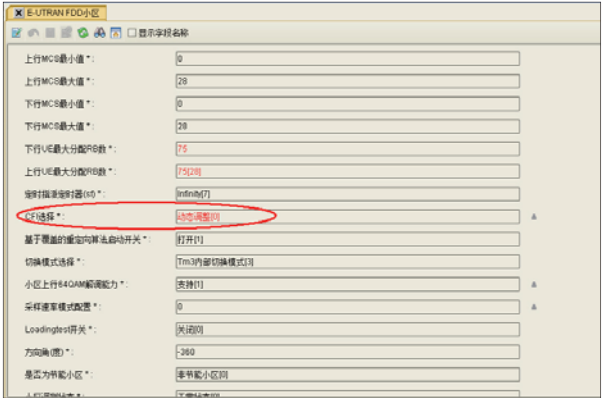


图6 B厂家CFI设置方式

基站名称	小区名称	小区双工模式	本地小区标识	统计周期内 PDCCH符号数 为1的次数	统计周期内 PDCCH符号数 为2的次数	统计周期内 PDCCH符号数 为3的次数	统计周期内 PDCCH符号数 为4的次数
金阳铁路技校	0_682914_2_金阳铁路技校	CELL_FDD	2	3380322	216560	2124	0
金阳铁路技校	0_682914_0_金阳铁路技校	CELL_FDD	0	3095553	487693	15760	0
金阳西南商贸城LTE室分	0_682899_0_金阳西南商贸城	CELL_FDD	0	3600023	0	0	0
金阳大唐三网合约LTE室分	0_682892_1_金阳大唐发耳发	CELL_FDD	1	3600027	0	0	0
金阳金元国际室分_BBU1	0_683778_0_金元集团办公大	CELL_FDD	0	3600018	0	0	0
金阳世纪城售楼部_BBU1	0_682569_2_金阳二铺汽配城	CELL_FDD	2	3589503	10423	100	0
金阳世纪城龙泉苑17栋_BBU	0_682645_1_金阳世纪城龙城	CELL_FDD	1	3138308	449836	11884	0
乌当味莪园	0_682745_2_乌当味莪园 电	CELL_FDD	2	3554616	45138	280	0
息烽电信局_BBU7_共站	0_682966_0_息烽南大街6号	CELL_FDD	0	3542921	56698	380	0
息烽电信局_BBU5_共站	0_682947_1_息烽翠竹苑 拉	CELL_FDD	1	3584043	15746	219	0
息烽电信局_BBU4_共站	0_682944_2_息烽东门路88号	CELL_FDD	2	3497272	101544	1208	0
金阳火车站东机房室分	0_682920_0_出站层东方向强	CELL_FDD	0	3600038	0	0	0
息烽阳明电信局	0_682965_1_息烽阳明电信局	CELL_FDD	1	3592002	7947	60	0
白云南湖新局_BBU4_共站	0_682931_0_白云托斯卡纳 电	CELL_FDD	0	3558928	40253	828	0
乌当083	0_682706_1_乌当083 电 电	CELL_FDD	1	3549309	49480	1242	0
乌当083	0_682706_0_乌当083 电 电	CELL_FDD	0	3525019	73896	1116	0
金阳电信综合楼	0_682564_2_金阳电信综合楼	CELL_FDD	2	3550103	48975	961	0
金阳电信综合楼	0_682564_1_金阳电信综合楼	CELL_FDD	1	3595305	4734	0	0
金阳益信制药	0_682685_0_金阳益信制药 电	CELL_FDD	0	3590228	9734	60	0
金阳一中	0_682681_0_金阳一中 电 电	CELL_FDD	0	3421137	172520	6370	0

图7 A厂家CFI调整起点示意图

序号	Time	eNodeBID	CellID	CFI1Cnt	CFI2Cnt	CFI3Cnt	RbAvailNum	RbUsedNum
27	2015-05-14 10:47:29.148	880284	48	0	1000	0	75000	1474
28	2015-05-14 10:47:30.148	880284	48	0	1000	0	75000	1594
29	2015-05-14 10:47:31.148	880284	48	0	1000	0	75000	1718
30	2015-05-14 10:47:32.148	880284	48	0	1000	0	75000	1706
31	2015-05-14 10:47:33.148	880284	48	0	1000	0	75000	1714
32	2015-05-14 10:47:34.148	880284	48	0	1000	0	75000	1586
33	2015-05-14 10:47:35.148	880284	48	0	1000	0	75000	3156
34	2015-05-14 10:47:36.148	880284	48	0	1000	0	75000	4155
35	2015-05-14 10:47:37.148	880284	48	0	1000	0	75000	1414
36	2015-05-14 10:47:38.148	880284	48	0	1000	0	75000	1322
37	2015-05-14 10:47:39.148	880284	48	0	1000	0	75000	1508
38	2015-05-14 10:47:40.148	880284	48	0	1000	0	75000	1721
39	2015-05-14 10:47:41.148	880284	48	0	1000	0	75000	1667
40	2015-05-14 10:47:42.148	880284	48	0	1000	0	75000	1700
41	2015-05-14 10:47:43.148	880284	48	0	1000	0	75000	2231
42	2015-05-14 10:47:44.148	880284	48	0	1000	0	75000	1475
43	2015-05-14 10:47:45.148	880284	48	0	1000	0	75000	1503
44	2015-05-14 10:47:46.148	880284	48	0	1000	0	75000	1372
45	2015-05-14 10:47:47.148	880284	48	0	1000	0	75000	1639
46	2015-05-14 10:47:48.148	880284	48	0	1000	0	75000	4555
47	2015-05-14 10:47:49.148	880284	48	0	1000	0	75000	2189
48	2015-05-14 10:47:50.148	880284	48	0	1000	0	75000	1426
49	2015-05-14 10:47:51.148	880284	48	0	1000	0	75000	7945
50	2015-05-14 10:47:52.148	880284	48	0	1000	0	75000	10380

图8 B厂家CFI调整起点示意图

参考文献：

- [1] 张志林. 3GPP LTE物理层和空中接口技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [2] 程鸿雁,朱晨鸣,王太峰,等. LTE FDD网络规划与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [3] 中国电信集团公司. 中国电信LTE无线网络厂家网管指标要求(2014修订稿)[Z]. 2014: 10-11.
- [4] 金辉. LTE: PHICH(一)[EB/OL]. (2013-03-01)[2015-03-01]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_927cff010101bhb1.html.
- [5] 高通公司. LTE Air Interface[Z]. 2014: 29-39.
- [6] 高通公司. LTE Trouble Shooting-Downlink Data Transfer[Z]. 2014: 20-22.
- [7] 高通公司. LTE Trouble Shooting-Uplink Data Transfer[Z]. 2014: 35-37.
- [8] 中国电信集团公司. 中国电信LTE/EPC系统接口技术要求-FDD Uu接口[Z]. 2013: 71-75.

- [9] 3GPP TS 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures[S]. 2010.
- [10] 3GPP TS 36.104. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception[S]. 2010.
- [11] 3GPP TS 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception[S]. 2010.
- [12] 沈嘉. 3GPP长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.★

作者简介

史光耀：工学学士毕业于西安电子科技大学，现任职于中国电信股份有限公司贵州分公司无线通信传输局，长期从事无线维护优化管理工作。

杨秀敏：工学硕士毕业于重庆邮电大学，现任职于中国电信股份有限公司贵州分公司无线通信传输局，从事网络优化工作。

黄辉：硕士毕业于贵州大学工商管理专业，现任职于中国电信股份有限公司贵州分公司无线通信传输局，从事网络优化管理工作。

基于TDD-LTE系统PDSCH下行功控策略的研究

石会路, 钟东明, 袁瑞民

(中国移动通信集团天津有限公司网络优化中心, 天津 300090)

【摘要】 通过对TDD-LTE系统中PDSCH信道下行功率分配策略进行分析研究, 在不同场景下验证不同的下行功率分配策略对信号电平、信噪比以及下载速率的影响, 为现网优化提供理论基础和研究依据。

【关键词】 TDD-LTE 物理下行共享信道 下行功率

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.002 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0010-05
引用格式: 石会路, 钟东明, 袁瑞民. 基于TDD-LTE系统PDSCH下行功控策略的研究[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 10-14.

Research on PDSCH Downlink Power Allocation Strategy Based on TDD-LTE System

SHI Hui-lu, ZHONG Dong-ming, YUAN Rui-min

(China Mobile Tianjin Corporation Network Optimization Center, Tianjin 300090, China)

[Abstract] Downlink power allocation strategy of physical downlink shared channel (PDSCH) in TDD-LTE system was researched. The impacts of different downlink power allocation strategies on signal level, SNR and downlink rate in different scenes were validated. It is able to provide theoretical basis and research foundation to modern network optimization.

[Key words] TDD-LTE physical downlink shared channel (PDSCH) downlink power

1 引言

随着LTE网络大规模建设以及用户的不断增长, 用户对网络的体验和需求也越来越高。由于LTE基站越来越密集, 网内干扰水平也逐渐升高, 因此需要更加合理的功率分配策略, 以降低网内干扰、避免功率分配受限和利用率不足的情况发生。

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel, 物理下行共享信道) 信道是唯一用来承载高层业务数据及信令的信道, 因此是LTE系统最重要的物理信道。

当PDSCH信道承载接入响应消息、寻呼消息和系统消息时, 功率控制用于保证覆盖; 当PDSCH信道承载普通业务时, 功率控制可有效提高系统吞吐率和频谱效率。本文主要针对TDD-LTE系统PDSCH信道下行功控进行研究和实验, 通过对PDSCH信道的功率配置来优化系统性能, 提升用户感知。

2 PDSCH信道下行功控的原理

对于PDSCH功率控制来说, 一个时隙上的OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用技术) 符号可以根据是否有小区参考信号分为2类: 不包含RS (Reference Signal, 参考信号) 的

收稿日期: 2015-03-16

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

OFDM符号为A类符号；包含RS的OFDM符号为B类符号。不同符号相对小区参考信号的EPRE（Transmit Energy per Resource Element，每资源单元容量）的比值由 ρ_A 和 ρ_B 决定，其中：

ρ_A 用来确定不包含小区参考信号的OFDM符号上的PDSCH EPRE。一般情况下 $\rho_A=PA$ ，根据协议TS 36.331定义，PA是一个离散的枚举值，其取值范围为 $\{-6, -4.77, -3, -1.77, 0, 1, 2, 3\}$ ，通过RRC信令下发到UE，用于PDSCH解调。

ρ_B 用来确定包含小区参考信号的OFDM符号上的PDSCH EPRE。PB通过PDSCH上EPRE的功率因子比率 ρ_B/ρ_A 确定，不同PB和天线端口数配置下对应 ρ_B/ρ_A 的取值如表1所示：

表1 不同PB和天线端口数配置下对应 ρ_B/ρ_A 的取值

PB	ρ_B/ρ_A	
	单天线端口	天线端口数为2或4
0	5/5	5/4
1	4/5	4/4
2	3/5	3/4

3 PDSCH信道下行功控优化

本研究基于4G华为设备，针对现网PDSCH下行功控策略进行分析研究与实验验证，并提出具体参数设置方法，对于其他机型也同样适用。

3.1 PDSCH信道下行功控策略分析

对于双天线端口，每个符号的发射功率总和是恒定的，与CRS（Cell Reference Signal，小区参考信号）设置的功率值有关，公式如下：

$$DL_RS_Power = P_{\text{singleantenna}} + 10\lg(1 + P_B) - 10\lg(12 \times N_{RB}) \quad (1)$$

其中， $P_{\text{singleantenna}}$ 为每通道的发射功率。共天线的情况下，两种制式的载波功率之和不能超出RRU额定输出功率，所以CRS的功率值不能设置过大。在3G、4G共模的环境下，20M带宽双天线端口CRS现网典型设置范围为6.2dBm至9.2dBm，PDSCH下行功控参数PA、PB设置为 $[-3, 1]$ 。通过RS Power Boosting（RS功率增强）技术可提升RS功率，增强小区覆盖能力，但

同时会带来RS同频干扰，影响区域整体下载速率，导致用户感知差。

3.2 PDSCH信道下行功控优化

不同组合方式下RRU（Remote Radio Unit，远端射频模块）功率利用率情况如表2所示：

表2 不同组合方式下RRU功率利用率情况

总功率利用率/%								
设置	PA							
	-6	-4.77	-3	-1.77	0	1	2	3
PB	0	76.29	82.15	89.84	94.47	100	99.02	98.24
	1	82.27	89.80	100	97.63	95.24	94.26	92.86
	2	89.96	100	95.22	92.87	90.48	89.50	88.10
	3	100	95.23	90.45	88.11	85.71	84.73	83.34

确保总功率利用率为100%的情况下， $PA=-3$ 、 $PB=1$ ，虽然提供较好的覆盖，但也产生了同频干扰影响速率，因此可将PDSCH下行功控策略调整为 $PA=0$ 、 $PB=0$ ，通过提升业务信道功率提高低SINR（Signal to Interference plus Noise Ratio，信号与干扰加噪声比）采样点所对应的MCS（Modulation and Coding Scheme，调制与编码策略）编码，从而有效提升下载速率。PA、PB设置为 $[-3, 1]$ 、 $[0, 0]$ 这2种情况下参考信号和业务信道的覆盖范围如图1所示：

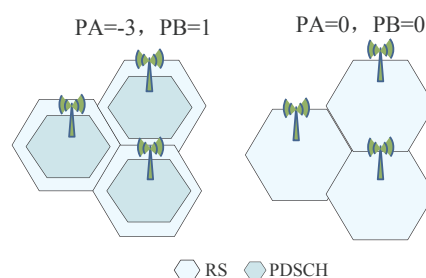


图1 2种场景下参考信号和业务信道的覆盖范围

由于在不同PB设置下，包含参考信号的OFDM符号中CRS的功率及PDSCH的功率占比变化方向相反，因此需要验证不同的下行功率分配策略对信号电平、信噪比以及下载速率的影响。

4 不同功控策略的优化验证

4.1 拉网测试验证

本次选取天津塘沽城区网格进行PDSCH下行功控参数优化实验，对PA、PB设置为[-3,1]、[0,0]这2种功控策略进行测试验证。实验网格为塘沽的核心区域，4G用户量相对较大且无线环境复杂，网格具体情况如图2所示：



图2 实验区域范围

目前实验网格RS功率设置情况如表3所示：

表3 55网格RS功率设置情况

网格	RS≤92小区/个	RS>92小区/个	RS≤92占比/%
55	104	13	89

将PA、PB分别设置为[-3,1]、[0,0]网格，RSRP（Reference Signal Receiving Power，参考信号接收功率）、SINR以及下载速率的对比情况如表4所示。

DT（Drive Test，驱车测试）拉网测试结果表明，PA、PB设置为[0,0]后，网格RSRP和SINR的最大值及均值都略小于设置为[-3,1]，而平均下载速率却比设置为[-3,1]提升2.2M左右。

4.2 单站定点测试验证

选取塘沽新河船厂基站近点（信号电平-75dBm）和远点（信号电平-90dBm）这2个位置，分别进行了PA、PB设置为[-3,1]、[0,0]空载和加扰CQT（Call Quality Test，通话质量测试）对比测试。

表4 RSRP、SINR以及下载速率测试对比情况

测试指标		网格55 DT测试对比情况	
		PA=-3, PB=1	PA=0, PB=0
RSRP /dBm	AVE	-84.06	-84.9
	MAX	-59.8	-63.17
	MIN	-141	-141
SINR /dB	AVE	10.75	10.22
	MAX	31	28
	MIN	-13	-22
DL Throughput /bits	AVE	24 258.84	26 497.56
	MAX	81 720	89 744
	MIN	0	0

（1）近点CQT测试验证情况

在基站近点（信号电平-75dBm）分别进行空载及100%加扰CQT测试，测试对比情况如表5所示。

测试结果表明，近点空载及100%加扰CQT测试中PA、PB设置为[0,0]的平均SINR、平均RSRP都略小于设置为[-3,1]，而平均下载速率均大于设置为[-3,1]。

（2）远点CQT测试验证情况

在基站远点（信号电平-90dBm）分别进行空载及100%加扰CQT测试，测试对比情况如表6所示。

测试结果表明，远点空载及100%加扰CQT测试中PA、PB设置为[0,0]的平均SINR、平均RSRP都略小于设置为[-3,1]，2种设置的下载速率基本持平，设置为[0,0]略小于设置为[-3,1]。这说明在边缘弱覆盖区域，PA、PB设置为[-3,1]可以采用高阶的调制编码方式，通过Power Boosting提升边缘用户的速率。

4.3 KPI指标监控情况

将功控参数PA、PB设置从[-3,1]调整为[0,0]后对小区KPI指标进行监控，参数修改前后3个工作日的KPI指标对比如表7所示，整体变化趋势平稳，无线利用率略有提升。

如表8所示，下行每PRB（Physical Resource Bearer，物理资源承载）平均吞吐率提升明显，空口下行流量也有所增加，下行每PRB平均利用率也有所提升。

4.4 测试结果分析

通过对城区网格拉网、单站近点、远点、轻载、

表5 近点测试验证对比情况

参数设置	是否加扰	平均 SINR/dB	下载速率/bits	平均 RSRP/dBm	QPSK 编码占比/%	16QAM 编码占比/%	64QAM 编码占比/%
PA=0, PB=0	否	18.93	51 231.92	-75.56	0.60	10.51	88.89
PA=-3, PB=1	否	19.36	48 697.13	-75.19	0.90	16.17	82.92
PA=0, PB=0	是	17.66	35 122.65	-73.99	2.50	7.66	89.76
PA=-3, PB=1	是	18.36	33 003.76	-71.41	0.32	26.24	73.44

表6 远点测试验证对比情况

参数设置	是否加扰	平均 SINR/dB	下载速率/bits	平均 RSRP/dBm	QPSK 编码占比/%	16QAM 编码占比/%	64QAM 编码占比/%
PA=0, PB=0	否	11.28	46 896.72	-89.62	0.65	11.66	87.69
PA=-3, PB=1	否	12.38	46 898.21	-87.19	0.28	11.95	87.77
PA=0, PB=0	是	10.99	44 397.08	-91.57	2.37	25.01	72.62
PA=-3, PB=1	是	12.77	44 401.12	-88.91	0.50	25.66	73.84

表7 KPI指标监控情况（1）

完整度	RRC连接建立成功率/%	E-RAB建立成功率/%	小区无线接通率/%	无线掉线率/%	同频切换成功率（新）/%	异频切换成功率（新）/%	切换成功率/%
调整前	99.96	99.99	99.954	0.105	99.808	99.846	99.835
调整后	99.96	99.99	99.947	0.102	99.817	99.895	99.873

表8 KPI指标监控情况（2）

完整度	空口上行流量/GB	空口下行流量/GB	上行PRB平均利用率/%	下行PRB平均利用率/%	无线利用率/%	上行每PRB平均吞吐率（bits/RB）	下行每PRB平均吞吐率（bits/RB）
调整前	1.807	20.06	3.183	1.712	1.965	1 751.576	3 217.2
调整后	2.519	32.06	3.231	1.977	2.182	1 998.498	4 891.2

加扰对比测试验证数据分析表明：

在当前城区网络环境下，PA、PB配置为[0,0]网格平均下载速率及主要KPI指标较配置为[-3,1]均有所提升，说明在覆盖良好的环境下RS Power Boosting技术并没有提升MCS编码，反而影响了信道估计。

PA、PB配置为[0,0]在不改变RS覆盖的基础上增大了业务信道发射功率，64QAM高阶编码的占比高于PA、PB配置为[-3,1]，说明在覆盖良好的环境下采用该配置能够更合理地对信道进行估计，并通过准确的CQI反馈进行MCS编码，从而提升下行下载速率。

在小区边缘弱覆盖区域，PA、PB配置为[-3,1]与配置为[0,0]下载速率接近，且略好于配置为[0,0]，说明在弱覆盖区域可通过RS Power Boosting技术有效提升RS功率，增强小区覆盖能力，提升边缘用户速率感知度。

5 结论

通过对PDSCH下行信道功率控制的研究与实验得出以下结论：针对现网城区覆盖良好的无线环境，PA、PB配置为[0,0]在不改变RS覆盖的基础上可增大业务信道发射功率，对网络指标以及用户下载速率均有提升，因此建议采用[0,0]配置策略。此外，针对边缘弱覆盖区域仍然建议采用[-3,1]配置策略，通过RS Power Boosting技术提升边缘下载速率。由于TDD-LTE系统速率感知差会严重影响用户的4G体验，本文研究的内容和方法对提升TDD-LTE下载速率、改善用户感知具有参考意义。

参考文献：

[1] 张新程. LTE空中接口技术与性能[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.

- [2] 黄韬. LTE/SAE移动通信网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [3] 陈书贞. LTE关键技术与无线性能[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [4] 元泉. LTE轻松进阶[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [5] 赵训威. 3GPP长期演进(LTE)系统架构与技术规范[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [6] 曾召华. LTE基础原理与关键技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2012.
- [7] 王映民,孙韶辉. TD-LTE技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [8] 张志林. 3GPP LTE物理层和空中接口技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [9] 龙紫薇,邓伟,杨光. LTE系统中的功率控制技术[J]. 电信科学, 2009(10): 71-75.
- [10] 陈俊,彭木根,王文博. TD-LTE系统功率控制技术研究[J]. 数据通信, 2010(4): 28-31. ★

作者简介



石会路: 硕士毕业于成都理工大学, 现任中国移动通信集团天津有限公司网络优化工程师, 主要从事LTE网络优化工作。



钟东明: 毕业于天津大学, 现任中国移动通信集团天津有限公司网络优化工程师、优化室经理。



袁瑞民: 高级工程师, 毕业于天津大学, 现任中国移动通信集团天津有限公司网络优化工程师。

首批民营宽带运营商诞生 宽带市场垄断或打破

2015年6月23日, 我国首批3家民营企业收到宽带运营商牌照, 分别是: 苏宁云商、长城宽带和网宿科技。民营企业进入宽带接入网市场, 从此民营宽带正式登陆。

面对首批民营宽带的诞生, 虚拟运营商产业联盟秘书长邹学勇表示, 民营宽带进入通信业, 宣布中国通信行业有史以来第一次宽带彻底开放民资, 更多用户选择宽带的数量增多, 更大是打破宽带垄断地位, 从此用户从强制选择宽带到自由组合选择宽带。

邹学勇还称, 用户选择宽带商的数量增多, 宽带的价格战将更激烈, 走向价值战的创新。免费宽带时代即将到来。

在2014年12月, 为了鼓励民间资本以多种模式进入宽带接入市场, 促进宽带网络基础设施发展和业务服务水平提升, 工信部发布了向民间资本开放宽带接入市场的通告, 并公布了《宽带接入网业务开放试点方案》。

《试点方案》显示, 民营企业可以申请宽带运营商牌照, 首批试点城市包括太原、沈阳、哈尔滨、上海、南京、杭州、宁波、厦门、青岛、郑州、武汉、长沙、广州、深圳、重庆、成都, 试点期限为3年。

工信部部长苗圩曾表示, 要通过向民间资本开放宽带接入网业务, 吸引民营企业参与到我国基础电信领域的建设和运营中来, 通过竞争促进企业宽带服务能力提升和资费水平的合理下降, 为广大用户提供便捷、优惠和多样化的宽带服务。(新浪科技)

2.3G TD-LTE和联通WCDMA系统合路互调干扰问题研究

郭希蕊, 张涛

(中国联通网络技术研究院, 北京 100048)

【摘要】 首先对联通WCDMA与2.3G TD-LTE系统合路的系统间干扰进行分析; 然后对三阶互调干扰进行理论分析及计算, 并详细分析互调干扰实验室测试结果; 最后提出了高性能器件与一般器件相结合的互调干扰问题解决方案。

【关键词】 系统合路 三阶互调 干扰

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.003 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0015-06
引用格式: 郭希蕊, 张涛. 2.3G TD-LTE和联通WCDMA系统合路互调干扰问题研究[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 15-20.

Research on Intermodulation Interference Between 2.3G TD-LTE and China Unicom WCDMA Systems

GUO Xi-rui, ZHANG Tao

(China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

[Abstract] Inter-system interference between 2.3G TD-LTE and China Unicom WCDMA systems was analyzed firstly. Then, third-order intermodulation interference was theoretically analyzed and calculated and laboratory test results of intermodulation interference were analyzed in depth. Finally, the solution to intermodulation interference which combines high-performance device with general device was presented.

[Key words] system combination third-order intermodulation interference

1 引言

工信部已于2013年12月4日正式向三大电信运营商发放4G牌照, 中国移动、中国联通以及中国电信均获得了D频段和E频段的TD-LTE牌照, 其中E频段TD-LTE主要用于室内分布系统。三家运营商E频段划分具体为: 联通TD-LTE (2 300—2 320MHz)、移动TD-LTE (2 320—2 370MHz)、电信TD-LTE (2 370—2 390MHz)。

在LTE室分建设过程中, 为节约建设成本, 大多与原有2G/3G室分系统进行合路。2.3G TD-LTE和WCDMA合路后, 两个系统的有源设备在发射有用信号的同时, 还在它的工作频带外会产生杂散、谐波、互调等无用信号, 这些信号落到其他系统的工作频带内就会对其他系统形成干扰。系统间的干扰主要有杂散干扰、阻塞干扰以及互调干扰。

通过对杂散干扰和阻塞干扰进行分析, 只要系统间的隔离度满足要求, 杂散干扰和阻塞干扰对系统的影响可以忽略不计。根据3GPP规定的杂散指标和阻塞指标, 可计算两系统的杂散隔离度和阻塞隔离度分

收稿日期: 2015-03-22

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

别为31dB、57dB，即两系统间的隔离度满足57dB就可抑制杂散干扰和阻塞干扰。而文献[7]规定2.3G TD-LTE和WCDMA系统合路器隔离度要求为80dB，因此两系统间的杂散干扰和阻塞干扰将不会对两系统形成影响。

根据无源互调的产生机理，通过对室分合路系统的频率及相关组合的分析，发现2.3G TD-LTE和WCDMA合路后的三阶互调落入WCDMA的上行频段，会对WCDMA产生互调干扰。

根据上述分析，本文将对2.3G TD-LTE和WCDMA合路的三阶互调干扰进行重点分析。首先对两系统的三阶互调进行理论分析，然后对互调干扰进行实验室验证测试，最后提出了互调干扰问题解决方案。

2 WCDMA与2.3G TD-LTE互调干扰分析

2.1 WCDMA与2.3G TD-LTE互调产物计算

下面主要针对WCDMA不同载波配置与2.3G TD-LTE不同频段配置时系统合路的三阶互调干扰进行分析计算。

(1) WCDMA与联通2.3G TD-LTE三阶互调产物计算

联通引入2.3G TD-LTE后，TD-LTE和WCDMA系统合路产生的三阶互调1 940—1 990MHz落在WCDMA的上行频段。表1为TD-LTE与WCDMA配置不同载波下的互调产物计算。

从表1分析可知：

1) 如果WCDMA配置1载波，且频段设置为2 135—2 140MHz、2 140—2 145MHz，则三阶互调不会落在该WCDMA载波的上行。

2) 如果WCDMA配置1载波，且频段设置为2 130—2 135MHz，则三阶互调会落在该WCDMA载波的上行。

3) 如果WCDMA配置2载波以上，则三阶互调会落在该WCDMA载波的上行，无法进行规避。

(2) WCDMA与移动2.3G TD-LTE三阶互调产物计算

移动TD-LTE E频段频谱范围为2 320—2 370MHz，在与联通WCDMA系统共建共享时，两个系统的三阶

表1 WCDMA与联通2.3G TD-LTE三阶互调干扰分析

WCDMA 载波配置	WCDMA 下行频段Tx /MHz	WCDMA 上行频段Rx /MHz	三阶互调 产物 /MHz	结论
1载波	2 130—2 135	1 940—1 945	1 940—1 970	落在WCDMA的上 行频段范围内
1载波	2 135—2 140	1 945—1 950	1 950—1 980	不落在WCDMA的 上行频段范围内
1载波	2 140—2 145	1 950—1 955	1 960—1 990	不落在WCDMA的 上行频段范围内
2载波	2 130—2 140	1 940—1 950	1 940—1 980	落在WCDMA的上 行频段范围内
2载波	2 135—2 145	1 945—1 955	1 950—1 990	落在WCDMA的上 行频段范围内
3载波	2 130—2 145	1 940—1 955	1 940—1 990	落在WCDMA的上 行频段范围内

互调1 890—1 970MHz会落在WCDMA系统的上行频段。WCDMA不同载波配置和TD-LTE不同频段配置情况下的互调干扰分析如表2所示。

通过表2可知：

1) 如果移动TD-LTE配置带宽为2 350—2 370MHz，则移动TD-LTE和WCDMA的三阶互调不会落在WCDMA的上行。

2) 如果移动TD-LTE配置带宽为2 330—2 350MHz，则：

◆若WCDMA配置1载波，且频段设置为2 130—2 135MHz，三阶互调不会落在该WCDMA载波的上行；

◆若WCDMA配置1载波，且频段设置为2 135—2 140MHz、2 140—2 145MHz，三阶互调会落在该WCDMA载波的上行；

◆若WCDMA配置2载波以上，三阶互调会落在该WCDMA载波的上行，无法进行规避。

3) 如果移动TD-LTE配置带宽为2 320—2 340MHz，则移动TD-LTE和WCDMA的三阶互调会落在WCDMA的上行。

4) 如果移动TD-LTE配置带宽为2 340—2 360MHz，则：

◆若WCDMA配置1载波，三阶互调不会落在该WCDMA载波的上行；

◆若WCDMA配置2载波，且频段设置为2 130—2 140MHz，三阶互调不会落在该WCDMA载波的上行；

◆若WCDMA配置2载波，且频段设置为2 135—2 145MHz、2 130—2 135MHz和2 140—2 145MHz，三阶互调会落在该WCDMA载波的上行；

◆若WCDMA配置3载波，三阶互调会落在该WCDMA载波的上行，无法进行规避。

(3) WCDMA与电信2.3G TD-LTE三阶互调产物计算

电信TD-LTE E频段频谱范围为2 370—2 390MHz，在与联通WCDMA系统共建共享时，两个系统的三阶互调1 870—1 920MHz不会落在WCDMA系统的上行频段，如表3所示。

2.2 三阶互调干扰理论计算

目前现网采用的无源器件三阶互调指标为-130dBc@ $2 \times 43\text{dBm}$ ，基站输出功率一般为43dBm，馈线以及合路损耗一般有1dB，三阶互调输入功率每降低1dB，互调抑制度就升高2dB，则其落在WCDMA上行的互调量为 $42-130-1 \times 2-1-6=-97\text{dBm}$ 。各数据的意义如下：

42dBm：输入分布系统的功率；

-130dBc：集采无源器件的三阶互调抑制制度；

1×2 ：三阶互调输入信号每降低1dB，互调抑制度就降低2dB；

1dB：基站到分布系统的损耗；

6dB：LTE和WCDMA的带宽转换因子。

由于WCDMA的干扰门限为-112dBm，因此三阶互调会对WCDMA的上行形成干扰，采用集采器件不能避免三阶互调干扰的影响。

表2 WCDMA与移动2.3G TD-LTE三阶互调干扰分析

TD-LTE频率配置 /MHz	WCDMA载波配置	WCDMA下行频段Tx /MHz	WCDMA上行频段Rx /MHz	三阶互调产物 /MHz	结论
2 350—2 370	3载波	2 130—2 145	1 940—1 955	1 890—1 940	不落在WCDMA的上行频段范围内
2 330—2 350	1载波	2 130—2 135	1 940—1 945	1 910—1 940	不落在WCDMA的上行频段范围内
	1载波	2 135—2 140	1 945—1 950	1 920—1 950	落在WCDMA的上行频段范围内
	1载波	2 140—2 145	1 950—1 955	1 930—1 960	落在WCDMA的上行频段范围内
2 320—2 340	1载波	2 130—2 135	1 940—1 945	1 920—1 950	落在WCDMA的上行频段范围内
	1载波	2 135—2 140	1 945—1 950	1 930—1 960	落在WCDMA的上行频段范围内
	1载波	2 140—2 145	1 950—1 955	1 940—1 970	落在WCDMA的上行频段范围内
2 340—2 360	1载波	2 130—2 135	1 940—1 945	1 900—1 930	不落在WCDMA的上行频段范围内
	1载波	2 135—2 140	1 945—1 950	1 910—1 940	不落在WCDMA的上行频段范围内
	1载波	2 140—2 145	1 950—1 955	1 920—1 950	不落在WCDMA的上行频段范围内
	2载波	2 130—2 140	1 940—1 950	1 900—1 940	不落在WCDMA的上行频段范围内
	2载波	2 135—2 145	1 945—1 955	1 910—1 950	落在WCDMA的上行频段范围内
	2载波	2 130—2 135 2 140—2 145	1 940—1 945 1 950—1 955	1 900—1 930 1 920—1 950	落在WCDMA的上行频段范围内
	3载波	2 130—2 145	1 940—1 955	1 900—1 950	落在WCDMA的上行频段范围内

表3 WCDMA与电信2.3G TD-LTE三阶互调干扰分析

TD-LTE频率配置 /MHz	WCDMA载波配置	WCDMA下行频段Tx /MHz	WCDMA上行频段Rx /MHz	三阶互调产物 /MHz	结论
2 370—2 390	3载波	2 130—2 145	1 940—1 955	1 870—1 920	不落在WCDMA的上行频段范围内

目前运营商定制的高性能无源器件三阶互调指标为-145dBc@ $2 \times 43\text{dBm}$ ，则其落在WCDMA上行的互调量为 $42-145-1 \times 2-1-6=-112\text{dBm}$ ，满足WCDMA的上行干扰门限。因此，使用高性能无源器件可以解决三阶互调干扰。

从理论来讲，三阶互调产生的互调量只要小于WCDMA的干扰门限，其产生的互调干扰就没有大的影响。由文献[9]可知，随着输入功率的降低，互调产物产生的干扰也会降低。室分系统中随着路径的损耗，当功率降到一定程度时，采用集采器件也可以解决三阶互调干扰。

如图1所示，基站下行输出功率为43dBm，假设到达高性能器件和集采器件交界点处时，室分路径损耗为LdB，采用集采无源器件，则在分界点产生的三阶互调为 $43-L-130-L \times 2-L-6$ (dB)，WCDMA的干扰门限为-112dBm，因此可以得到不等式： $43-L-130-L \times 2-L-6 \leq -112$ ，解得 $L \geq 4.75$ 。因此，高性能器件和一般器件交界点处的单系统总功率为 $43-L=38$ dBm。

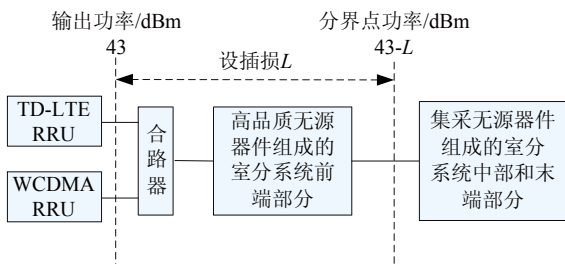


图1 TD-LTE和WCDMA合路高性能器件及集采器件交界点功率节点

3 三阶互调干扰实验室测试结果分析

针对TD-LTE和WCDMA三阶互调干扰问题，在实

验室搭建了环境进行测试，本次测试协调了现网替换的无源器件、集采器件、到货抽检器件以及高性能无源器件。测试连接如图2所示：

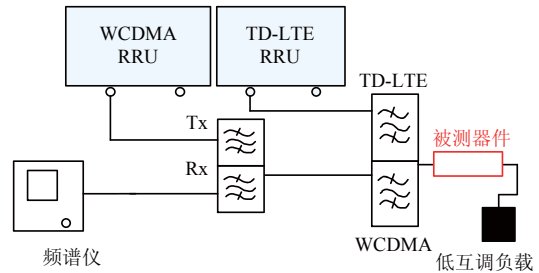


图2 TD-LTE和WCDMA三阶互调测试连接图

其中，TD-LTE配置20MHz带宽，频率为2 300—2 320MHz，发射功率为43dBm；WCDMA 配置3载波进行测试，每载波发射功率为43dBm。在基站满功率发射，被测器件直接连接合路器输出端口时，针对现网替换器件、集采器件和高性能器件，TD-LTE和WCDMA合路三阶互调干扰测试结果如图3所示。

通过图3测试数据可知，高性能器件的干扰最小，集采器件次之，现网替换器件最差，最差的器件能够带来15dB以上的底噪提升。高性能无源器件即使应用于最前端，其产生的干扰也在可接受范围内。

采用高性能器件虽然能够解决干扰问题，但却带来了建设成本大幅提升的问题。鉴于互调干扰大小与输入功率相关，因此可以通过高性能器件应用于前

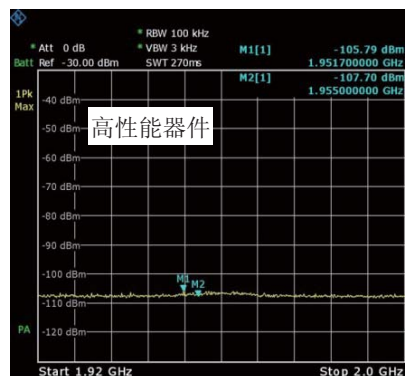
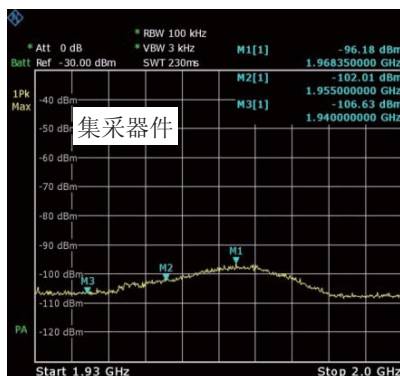
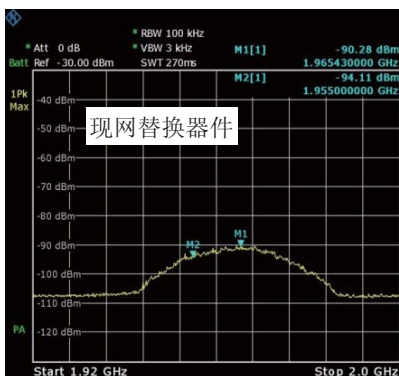


图3 TD-LTE和WCDMA三阶互调测试结果

端、一般器件应用于末端的方式来降低建设成本。对于前端和末端，可以通过输入功率大小进行划分，为了验证前端和末端功率划分标准，在合路器输出端口接一个无干扰的高性能器件，被测器件连接高性能器件，测试连接如图4所示：

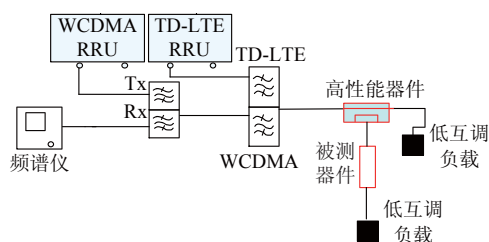


图4 连接高性能器件后TD-LTE和WCDMA三阶互调测试连接图

按照图4，被测器件连接5dB高性能耦合器耦合端口后，替换器件和集采器件的三阶互调测试结果如图5所示。

从图5可以看到，三阶互调值满足-130dBc的器件在连接5dB耦合器耦合端口后，其产生的三阶互调可忽略不计，但三阶互调值较差的器件仍有干扰。对于仍有干扰的器件，在5dB耦合端口连接一个高性能二功分后，干扰在可接受范围内，测试结果如图6所示。

通过上述测试结果分析可知，高性能器件应用于最前端可以解决互调干扰问题，对于集采器件和替换器件，只要输入功率降低到一定程度，互调干扰也可

以忽略。

对于现网2.3G TD-LTE采用双通道的场景，建议把WCDMA上下行分路再与TD-LTE进行合路，以规避三阶互调对WCDMA上行干扰的影响，连接如图7所示：

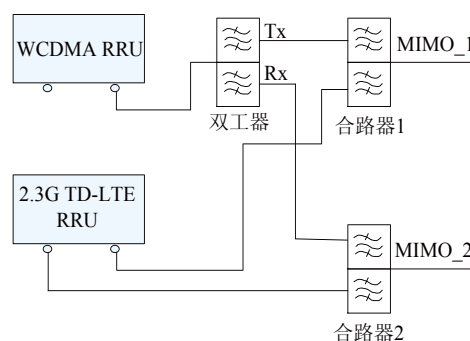


图7 2.3G TD-LTE与WCDMA合路双通道分路干扰解决方案连接图

4 2.3G TD-LTE和WCDMA合路互调干扰解决方案

基于室分系统中干扰与功率强相关的特性，本文制定出了高性能器件和一般器件相结合的互调干扰解决方案，并根据TD-LTE和WCDMA合路互调理论分析以及实验室的测试数据，给出了高性能器件和一般器件的功率节点。

(1) 在2.3G TD-LTE配置不同带宽以及WCDMA配置不同载波，TD-LTE和WCDMA合路三阶互调不会

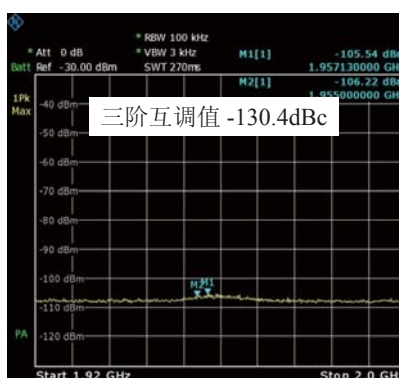


图5 连接5dB耦合器耦合端口后TD-LTE和WCDMA三阶互调测试结果

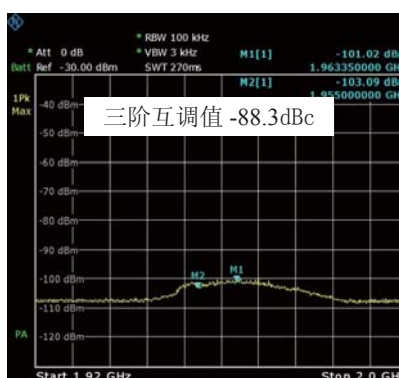


图6 连接5dB耦合器+二功分后三阶互调干扰测试结果

干扰WCDMA上行的情况下，采用一般器件即可互调干扰要求。

(2) 在TD-LTE和WCDMA合路三阶互调干扰WCDMA上行的情况下：

1) 对于2.3G TD-LTE和WCDMA合路单通道情况，LTE满功率发射时，输入功率高于36dBm的节点使用高性能器件、低于36dBm的节点使用一般器件；老化特别严重的器件节点单载波功率为33dBm。

2) 对于2.3G TD-LTE双通道场景，建议把WCDMA上下行分路再与TD-LTE进行合路，可避免三阶互调干扰的影响，此时采用一般器件即可互调干扰要求。

5 结束语

本文通过理论分析和实验室验证测试，分析了2.3G TD-LTE和WCDMA合路互调干扰问题，并给出了互调干扰问题解决方案，希望在WCDMA室分系统中引入2.3G TD-LTE后应用该方案，以避免三阶互调对WCDMA系统的干扰。

参考文献：

- [1] 3GPP TS 25.104. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) [S]. 2011.
- [2] 3GPP TS 36.104 V9.3.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception[S]. 2010.
- [3] 3GPP TS 36.211 V9.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channel and Modulation[S]. 2010.
- [4] 3GPP TS 36.212 V9.3.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding[S]. 2010.
- [5] 3GPP TS 36.213 V9.3.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures[S]. 2010.

- [6] 3GPP TS 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); UE radio transmission and reception[S]. 2010.
- [7] 中国联合网络通信有限公司. 中国联通室内分布系统设备技术规范[R]. 2014.
- [8] 张世全,葛德彪,傅德民. 幂级数法对无源交调幅度和功率的预测[J]. 西安电子科技大学学报, 2002(3): 404-407.
- [9] 罗一锋. 舰船通信系统的无源互调研究[J]. 现代电子技术, 2010(23): 39-44.
- [10] 危明辉. 通讯网络系统无源器件干扰问题的分析与解决[J]. 福建建材, 2011(5): 38-39.
- [11] 薛楠,文博,吴琼. LTE室内分布系统建设方案研究[J]. 邮电设计技术, 2013(1): 5-9.
- [12] 张涛,韩玉楠,李福昌. LTE室内分布系统演进方案研究[J]. 邮电设计技术, 2013(3): 22-26.
- [13] 孙镜华. TD-LTE与其他系统室内分布干扰分析探讨[J]. 数字技术与应用, 2011(7): 202-203. ★

作者简介



郭希蕊：工程师，硕士毕业于重庆邮电大学，现任职于中国联通网络技术研究院，主要从事室内分布系统干扰相关的研究工作。



张涛：工程师，硕士毕业于北京邮电大学，现任职于中国联通网络技术研究院，主要从事室内分布系统和天线相关的研究工作。

网络规划阶段RNC及载波扩容预测方法研究

袁栋

(广州杰赛科技股份有限公司通信规划设计院, 广东 广州 510310)

【摘要】 通过详细阐述网络规划阶段RNC新建、扩容方案以及载波扩容预测分析办法和推导过程,并结合中国联通提出简单扩容管理办法,为WCDMA网络RNC建设和多载波部署提供了具体而实用的参考。

【关键词】 WCDMA 网络规划 RNC 载波扩容

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.004 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0021-04
引用格式: 袁栋. 网络规划阶段RNC及载波扩容预测方法研究[J]. 移动通信, 2015,39(12): 21-24.

Research on Prediction Method of RNC and Carrier Expansion at Stage of Network Planning

YUAN Dong

(GCI Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou 510310, China)

[Abstract] New RNC and its expansion at stage of network planning, as well as carrier expansion prediction analysis and its deduction process were elaborated in this paper. According to China Unicom, simple expansion management method was presented to provide a concrete and useful reference to RNC construction and multi-carrier deployment in WCDMA network.

[Key words] WCDMA network planning radio network controller (RNC) carrier expansion

1 引言

随着WCDMA网络规模日益扩大,3G数据用户激增、智能终端的发展及在线业务的应用等带来RNC(Radio Network Controller,无线网络控制器)侧语音业务流量、数据业务流量、信令流量的爆发式增长,网络已由最初的单载波基站覆盖为主逐步扩容到现有的3载波网络。同时,部分场景用户上网产生的数据业务所占的比重越来越高,呈现出业务突发性强的特点。由此带来的网络容量问题也日益凸显,RNC的

数据监测分析及载波扩容已成为常态化工作,因此需定期进行相关分析,以便对资源利用率超标的RNC和基站进行及时扩容,确保网络质量。

本文重点对网络规划阶段WCDMA网络RNC及载波扩容进行相关预测分析,从而形成规范化、流程化的方法,以指导后期网络规划建设。

2 载波扩容方法

2.1 规划阶段载波扩容新特性

- (1) 业务预测基于趋势外推、“拟合”方式。
- (2) 预测增长系数基于分地市、分场景进行。
- (3) 引入新入网基站校正系数。

收稿日期: 2015-03-13

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

2.2 业务预测增长系数预测方法

- (1) 业务预测基于业务量增长趋势外推进行，选取每个本地网近24个月语音和数据业务历史数据（日均话务量及数据流量）进行分析，依据按月本地网语音和数据业务的平均增长趋势进行“拟合”的方式，得出未来3年各本地网综合语音业务和数据业务增长系数。
- (2) 业务预测基于用户数增长进行校正，依据市场部门提供未来3年每个本地网测算的用户数和本年底各本地网的现网用户数做用户数增长的比值，得出未来3年各本地网用户数增长系数。
- (3) 各本地网综合增长系数=业务量增长系数×业务增长权重+用户数增长系数×用户数增长权重（分语音业务和数据业务）。
- (4) 业务增长系数细化到场景区域。依据本年度每场景语音和数据实际日均业务的增长量，区分市区、县城、乡村、景区和交通干线五大类场景，得出各类场景的业务增长系数。结合各本地网综合增长系数，等比拆分得出各本地网五类场景的增长系数。
- (5) 引入新入网基站校正系数。各本地网依据市区、县城两大场景内新建站占现网场景里基站的比例为调整系数，对市区、县城两大场景的业务增长系数进行分担校正。

2.3 载波扩容分析具体过程

- 某省分地市、分场景、分语音数据测算业务增长进行基站扩容，具体基站扩容思路及流程如图1所示。
- (1) 以本年度各本地网全网每小区的语音业务和数据业务实际忙时的话务量、数据流量、数据业务在线用户数为基准值，根据各本地网分场景增长系数预测未来3年的语音业务、数据业务以及数据业务在线用户数情况。
 - (2) 依据无线资源利用率公式得出每小区7天的无线资源利用率。
 - (3) 各年度基础扩容需求=超门限扩容需求+拥塞扩容需求+连片或整站扩容需求。
 - (4) 超门限扩容需求：预测结果连续7天内是否有超过4天的无线资源利用率大于60%，且数据业务忙时在线用户数超过15个。
 - (5) 拥塞扩容需求：统计每小区现网连续7天拥塞次数累计大于1 000次的。
 - (6) 连片或整站扩容需求：对于各地市1载波升2载波的基站进行整站扩容；对于2载波升3载波的基站，仅在城区已经形成3载波连片的区域进行整站扩容。除整站外的连片扩容暂不考虑。
 - (7) 最终扩容需求=各年度基础扩容需求-现网已

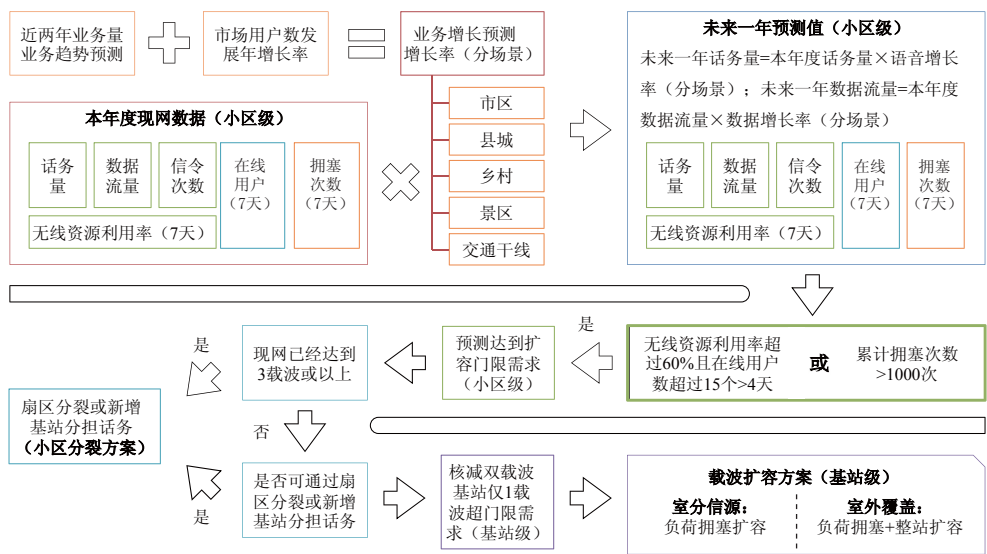


图1 载波扩容分析流程图

达3载波（或以上）的扩容需求-2载波基站仅1载波达到门限的扩容需求-来年新增基站或扇区分裂分担的扩容需求-本年度简单扩容项目已经解决的扩容需求。

（8）现网已达3载波（或以上）的扩容需求通过扇区分裂或新增基站解决，暂不考虑载波扩容。对于扇区分裂，要求各地市结合实际情况形成规模和清单。

（9）对于2载波基站仅1载波达到门限的扩容需求，根据集团简单扩容细则不予扩容。

（10）可被来年新增基站或扇区分裂可分担的扩容需求，要求各本地网根据网络实际情况进行手工核实。

（11）对于已经通过本年度简单扩容项目解决的扩容需求进行手工核实。

3 RNC新建及扩容分析方法

3.1 RNC新建扩容原则

RNC新建扩容需遵循以下原则：

（1）RNC容量需求参照预测期的业务量进行扩容规划。

（2）RNC软件、硬件、信令扩容步长均按照集团要求步长配置。

（3）根据各地市分区域RNC业务负荷合理设置RNC软硬件配比。

（4）新建RNC采用各厂家新型RNC。

3.2 RNC信令负荷预测方法

（1）按照市场部门预测未来3年的发展用户数结合本年度出账用户数，通过现网SGSN（Serving GPRS Support Node，GPRS服务支持节点）侧每RNC的附着用户数占比预测每RNC分年度的出账用户数。

（2）按照现网RNC侧信令流量/每RNC的出账用户数+每RNC每出账用户的信令模型。

（3）通过预测的每RNC分年度的出账用户数×每RNC每出账用户的信令模型/现网RNC信令配置处理能力=每RNC预测的信令负荷。

（4）根据预测出分RNC信令负荷是否达到扩容门限而制定RNC硬件扩容方案。

3.3 RNC软件负荷预测方法

（1）通过上文载波扩容预测得到单基站综合业务量增长率，按照每RNC下挂基站综合业务量增长率推导出每RNC综合业务量增长率。

（2）根据预测出分RNC综合业务量增长率×每RNC现网数据流量/现网每RNC的软件容量配置=预测每RNC软件负荷。

（3）根据预测出分RNC软件负荷是否达到扩容门限而制定RNC软件扩容方案。

RNC新建及扩容分析流程如图2所示：

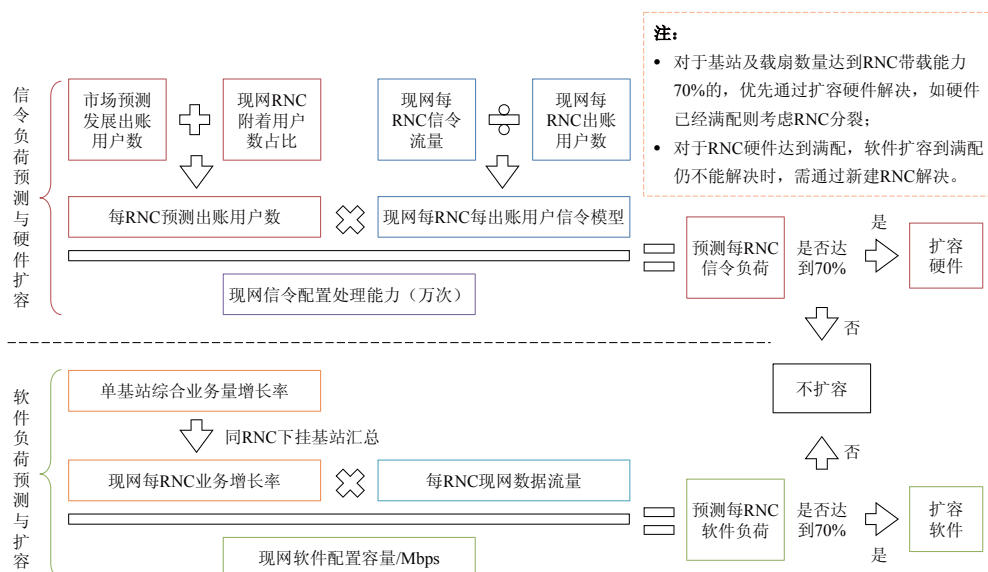


图2 RNC新建及扩容分析流程图

4 结束语

根据网络规划要求,通过合理网络规划策略为规划建设提供参考,能够更好地指导规划过程中RNC及载波扩容预测以满足网络的实际需求,使资源配置达到最优,可供今后在网络规划阶段形成规范化的预测方法,进一步提升网络规划的质量。

参考文献:

- [1] 中国联合网络通信有限公司. 中国联通简单扩容项目实施办法及相关专业实施细则[S]. 2013.
- [2] 中国联合网络通信有限公司. WCDMA无线资源利用率计算公式[S]. 2013.
- [3] 中国联合网络通信有限公司. 中国联通2013年WCDMA网工程无线设备技术规范书[S]. 2013.
- [4] 刘士卿. 浅析联通WCDMA网络规划策略[J]. 移动通信, 2013(16): 15-20.
- [5] 吴宁泉,苏小文,柯利忠. WCDMA无线网络容量规划方法研究——指标分析法[J]. 移动通信, 2012(22): 7-11.
- [6] 席向涛,杨新,高婷婷. 中国联通3G基站及RNC配置模型研究[J]. 邮电设计技术, 2014(2): 45-51.
- [7] 周飞. 联通WCDMA网络RNC负荷分析及扩容建议[J]. 移动通信, 2013(13): 23-26.
- [8] 黄星辉,张志光,安朋朋. 浅析WCDMA网络扩容思路[J]. 移动通信, 2012(S2): 13-15.
- [9] 朱强. WCDMA网络的多载波扩容方案[J]. 信息网络, 2004(8): 58-59.
- [10] 薛云山. 无线网络建设规模预测方法研究[J]. 电信技术, 2014(11): 74-75.★

作者简介



袁栋: 助理工程师, 学士毕业于西安邮电学院电子信息工程专业, 现任职于广州杰赛科技股份有限公司通信规划设计院, 主要从事移动通信无线网络咨询、规划和设计工作。

工信部: 4G用户达到2亿户 移动宽带用户占比过半

据工信部统计,2015年1—5月我国移动电话用户净增624.5万户,仅为上年同期的22.9%,受5月当月移动用户数负增长影响,移动用户数回落至12.92亿户。移动电话用户结构继续升级,1—5月,移动宽带(3G/4G)用户累计净增7 407.7万户,总数达到6.57亿户,移动电话用户总数占比提升至50.8%,较上年末提高5.5个百分点。移动宽带用户的高速增长几乎全部由4G用户增长带动,5月4G用户净增2 281.6万,总数超过2亿户,在移动电话用户占比15.5%。

数据显示,互联网宽带接入用户数达2.06亿户,8Mbps及以上宽带用户占比过半。1—5月,三家基础电信企业互联网宽带接入用户净增502万户,总数达到2.06亿户。宽带城市建设继续推动光纤接入的普及,光纤接入FTTH/0用户比上年末净增1 764.9万户,比上年同期净增数高57.7%,总数达到8 596.5万户,占宽带用户总数的比重达到41.8%。

在电信业务使用情况下,移动电话通话量加速下滑,国内漫游通话量继续保持增长。受移动电话用户的回落和互联网应用的持续冲击,1—5月,全国移动电话通话量同比下滑1.8个百分点,其中移动电话去话通话时长完成11 849.1亿分钟,同比下降2.4%,比1—4月降幅扩大0.2个百分点,但与移动电话用户增速差距收窄至5.3个百分点。国内非漫游、国际和港澳台漫游通话时长降幅扩大,同比下降3.1%、4.8%、6.9%,分别比1—4月扩大0.1、0.9和0.5个百分点;国内漫游去话通话时长则保持较快的增长,同比增长3.7%,增速与上月持平。(飞象网)

移动通信基站天线互调的参数化分析方法

吴卫华

(武汉虹信通信技术有限公司, 湖北 武汉 430205)

【摘要】 针对当前基站天线设计生产厂家的互调经验分析方法, 提出了基站天线互调的参数化分析方法。通过引入能量和相位的概念, 介绍了基站天线互调设计原则, 研究了基站天线互调生产参数化管控手段, 分析了基站天线互调返修中的参数化故障定位方法, 并通过实验证实了在3个环节之间建立有效的参数化反馈机制可以实现参数化分析基站天线互调。

【关键词】 基站天线 互调 时域反射 故障定位

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.005 中图分类号: TN82 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0025-04
引用格式: 吴卫华. 移动通信基站天线互调的参数化分析方法[J]. 移动通信, 2015,39(12): 25-28.

Parametric Analysis Method on Passive Intermodulation of Mobile Communication Base Station Antenna

WU Wei-hua

(Wuhan Hongxin Telecommunication Technologies Co., Ltd., Wuhan 430205, China)

[Abstract] According to analysis method on passive intermodulation (PIM) of base station (BS) antenna' manufacturer at present, a parametric analysis method on PIM of BS antenna was proposed. The concepts of energy and phase were introduced and design principle of BS antenna PIM was described. Parametric control means of BS antenna PIM production was studied and parametric default location method of BS antenna PIM in repair was analyzed. It is verified through experiment that the establishment of effective parametric feedback mechanism between three links can achieve parametric analysis on PIM of BS antenna.

[Key words] base station antenna passive intermodulation (PIM) time domain reflection fault location

1 引言

在移动通信系统中, 基站天线是收发信机与外界传播介质之间的接口。同一副基站天线既可以辐射又可以接收无线电波: 发射时, 将收发信机馈给的射频电能转换为电磁波能; 接收时, 把电磁波能转化为射频电能并输送到收发信机。网络运营商为提升网络质量、增加覆盖范围, 收发信机的机顶功率在不断增加, 基站天线也由定向天线升级为电调天线, 由双端

口单频天线升级到10端口5频天线, 同时基站天线的三阶互调最低要求也达到了-107dBm。

基站天线的主体结构由外罩、反射板、馈电网络以及振子组成, 馈电网络可进一步细分为端口跳线、功分器、接线端子、移相器等部件。现有基站天线设计生产厂家: 在天线互调设计中, 遵循的是经验设计方法; 在天线互调生产控制中, 遵循的是过程管控方法; 在天线互调返修中, 遵循的是经验排除方法。3个环节之间缺乏有效的参数化反馈机制, 需要大量有长期互调实践经验的工程师, 通过在各自领域积累的经验 and 知识, 来支持整个基站天线的互调设计保证、互调生产直通率、互调返修合格率及效率。

收稿日期: 2015-03-14

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

随着移动通信技术的发展，基站天线在向双极化、电调、多频、振子复用方向演进，如图1所示。基站天线在向多频多端口演进的同时，其体积受铁塔安装空间限值不能增加太多，同时部分网络运营提出了比三阶互调-107dBm更高的要求，互调要在天线小型化的基础上继续优化提高，基于经验的互调分析方法已经不能满足基站天线互调设计实现、互调生产直通率以及互调返修合格率和效率。

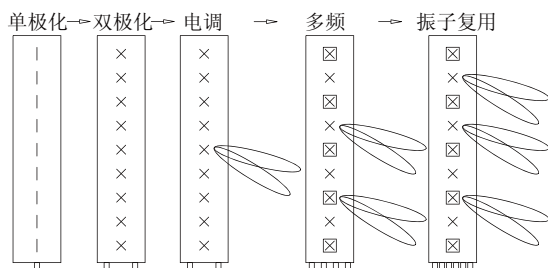


图1 基站天线技术演进示意图

基于此，本文建立了移动通信基站天线互调的参数化分析方法：在能量和相位的维度，将基站天线互调参数化分解到各部件，明确提出各部件互调要求，并编制出以各部件互调值为参数的基站天线互调参数化表格。在基站天线互调参数化分解到各部件的基础上，利用参数化分析方法，明确基站天线在预制、焊接、装配、清洁各个环节对人、机、法的参数化要求，互调生产直通率通过互调工艺设计实现。基于能量和相位，搭建可参数化定位基站天线互调故障点和故障值的互调测试平台，准确判定基站天线互调故障点，提升基站天线互调返修合格率和效率。

2 基站天线互调参数化设计

基站天线互调参数化设计方法包括以下步骤：

(1) 如图2所示，以某基站天线连接收发信机的端口为起点、将射频电能转换为电磁波能的振子为终点，将射频传输的途径分成2个部分：第1部分是能量等幅分配和同相位；第2部分是能量不等幅分配和可变相位差。

(2) 第1部分包含端口跳线、功分器、接线端子、移相器输入端，其等同于馈电网络；第2部分包含

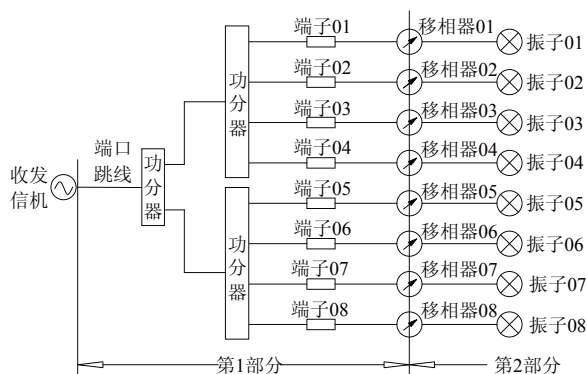


图2 基站天线馈电网络示意图

移相器输出端、振子及连接振子的跳线。

(3) 将影响基站天线互调的4大因素（电镀、焊接、接触、清洁）分解到基站天线2个部分中去。

(4) 根据能量分配原理，将端口反射互调测试的双音射频信号载波功率分解到第1部分各部件中去，射频电能传播公式为：

$$E = E_0 \cos[\omega(t - x/u)x + \phi_0] \quad (1)$$

根据能量合成原理，同相位的三阶互调产物在反射互调时直接叠加合成，公式如下：

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (2)$$

(5) 根据馈电网络中功分器的特征，可得出各振子的能量方程；根据基站天线电下倾角调整对应的移相器电长度变化，可得出各振子相位方程。这2个方程可综合为各振子的能量相位方程，根据能量合成原理，存在相位差的三阶互调产物可通过三角函数方程合成：

$$E = \sum_{i,j=1}^{i,j=n} E_{ij} \cos[\omega(t - x/u)x + \phi_{ij}] \quad (3)$$

(6) 载波功率每增减1dB，则三阶互调产物增减3dB。

(7) 馈电网络中各部件的互调设计要求值可通过步骤(4)和步骤(6)参数化。

(8) 第2部分振子的互调设计值可通过步骤(5)和步骤(6)参数化，由于相位差影响，互调设计值有一个区间，最差值对应最小的下倾角，最优值对应最大的下倾角，振子互调设计值取最差值。

(9) 材料的缺陷、磁滞等决定材料互调，当部件

材料互调值低于部件互调设计理论值时，部件互调设计理论值由材料决定。通过步骤（6）可发现，材料在对应不同载波功率时互调产物不同。材料互调值和部件互调设计理论值的比较要基于对应的载波功率。

3 基站天线互调生产参数化管控

基站天线互调生产参数化管控方法包括以下步骤：

（1）基站天线各部件的互调设计值为理论值，在实际生产中会由于电镀、焊接、接触、清洁这4大因素离散化的同时恶化。

（2）互调离散度主要由以下几点决定：

◆ 电镀、焊接、接触、清洁这4大因素的影响减少或减弱；

◆ 各工序操作人员好/中/差素质的比例；

◆ 装配焊接清洁工装夹具的一致性和使用比例；

◆ 是否配置过程检验排除互调不合格部件。

（3）如图3所示，为保证互调直通率，有2个措施：措施1为提高互调设计理论值（当为材料互调受限时，提升材料互调值），冗余较大的互调离散化及恶化；措施2为合理的互调设计理论值，减小互调离散，降低互调恶化程度。

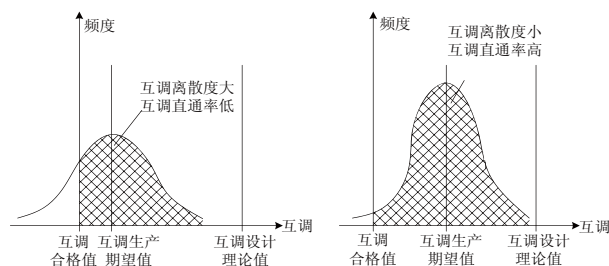


图3 基站天线互调离散度示意图

（4）步骤（3）中，措施1会增加基站天线某些部件互调设计难度（或提升材料互调要求），提升互调直通率保证成本；措施2可通过基站天线互调生产参数化管控方法实现。

（5）互调设计理论值无法提供较大余量的，可通过减小互调离散度实现。

（6）互调设计理论值有较大余量的，可适当放宽互调离散度，降低生产管控要求。

（7）对于影响互调离散度的第1、2、3点因素，可通过大量生产质量数据，再通过统计学的方法形成影响互调离散度参数。对于影响互调离散度的第4点因素，在前3点因素可控后，形成双重保险，提升互调直通率，并同步收集了新的质量数据为再次优化影响互调离散度参数做好准备。

4 基站天线互调返修中的参数化故障定位

基站天线互调返修中的参数化故障定位方法包括以下步骤：

（1）测试不同电下倾角下的基站天线三阶互调值，若存在互调测试值随着电下倾角度增加逐渐变好但最差值低于互调合格值时，可判断互调故障点为振子或其连接跳线，通过各振子的能量相位方程，从能量最大、相位差最小的成对振子间检查焊接、接触、清洁等生产管控点，通过返修解决，再次测试互调，若仍不合格，继续排查能量次大、相位差次小的成对振子，直到互调合格。

（2）在步骤（1）测试中，若互调测试值随着电下倾角度增加基本不变但测试值低于互调合格值时，可基本排除振子的互调问题，将互调问题定位到馈电网络，详见后续步骤（3）至步骤（6）。

（3）将同轴电缆的长度、PCB上的蚀刻电路长度转换成基于双音射频信号和三阶互调产物对应频率的电长度，其中双音射频信号频率对应 f_1 、 f_2 ，三阶互调产物对应频率为 $2f_2-f_1$ ，电长度对应的频率取3个频率的算数平均值为：

$$\text{电长度} = \sum_{i=1}^n (\text{时间}_i \times \text{速度}_i) / 2 \quad (4)$$

（4）如图4所示，根据基站天线部件距离端口的电长度，将基站天线馈电网络不同部件互调设计值绘制成图表。横坐标为电长度值、纵坐标为部件三阶互调产物值，在图表上根据互调参数化设计和互调参数化生产数据，预先绘制出2条轨迹：第1条轨迹与横坐标平行，纵坐标值为基站天线互调合格值；第2条轨迹为计算互调离散度后的部件互调设计实际值。

（5）搭建可参数化定位基站天线互调故障平台，此平台基于时域反射原理，通过软硬件一体化配置，可跟踪双音射频信号发出到接收到三阶互调产物的时间

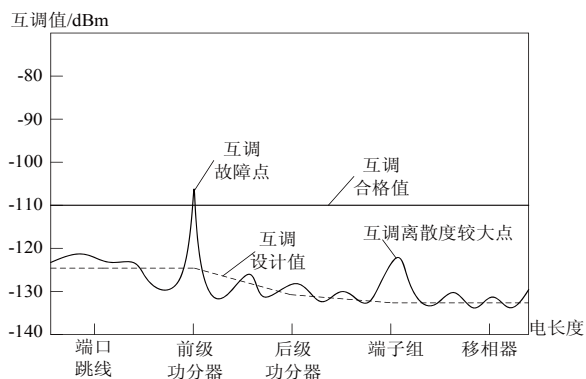


图4 基站天线互调返修参数化故障定位

和幅度，并转化成图4中的连续标记点，通过与图4中2条轨迹的比对，直观显示部件故障互调值和故障位置。

（6）可参数化定位基站天线互调故障平台通过预先校准，将图4横坐标的电长度零点调整为基站天线端口。

5 结束语

采用基站天线互调参数化设计方法，引入能量和相位的概念，将基站天线互调参数化分解到各部件，明确提出各部件互调要求，并编制出以各部件互调值为参数的基站天线互调参数化表格，改变了传统天线互调设计主要依靠经验的方法，可以大大减少工程师的互调实践经验积累，进而减小互调设计风险和周期，且使得基站天线互调设计完全参数化。

采用基站天线互调生产参数化管控方法，引入互调离散度的概念，并将互调离散度的影响因素通过统计学的方法参数化，改变了传统天线互调生产无法量化对人、机、法的要求，互调生产直通率不高且有波动的问题，可以大大提升互调生产直通率且能对其进行优化。

采用基站天线互调返修中的参数化故障定位方法，引入对应频率的电长度概念，并绘制横坐标为电长度值、纵坐标为部件三阶互调产物值的图表，将实际测量的互调产物经过频域变化为基于电长度的互调值，经过对比可直观发现部件互调故障点和故障值，改变了传统天线互调返修主要采取效率低下的排除法，并且排除效率完全取决于工程师的长期互调实践

经验，可以大大提升互调返修效率和返修合格率。

在移动通信基站天线互调分析方法领域，本文通过突破本领域的惯性认知，可以实现参数化分析基站天线互调。

参考文献：

- [1] 冯庆华. 无源互调干扰在移动通信网中的危害及消除措施[J]. 科技创新与应用, 2012(19): 69-70.
- [2] 范颂东. 基站天线无源互调干扰的分析与预防[J]. 机电信息, 2014(9): 146-148.
- [3] 王飞,李长生,严来良,等. 浅谈多层天线板三阶互调的控制[J]. 印制电路信息, 2012(S1): 406-409.
- [4] 贾瑞君. 关于移动通信基站天线互调指标的研究[J]. 移动通信, 2014(19): 43-46.
- [5] 叶强,周浩淼,邹新民,等. 基于计算机一体化无源互调测试系统的研究[J]. 仪器仪表学报, 2009(7): 1540-1545.
- [6] 唐志辉,李洪超,王苏明. 非线性媒质无源交调电平预测[J]. 中国空间科学技术, 2010(3): 43-50.
- [7] 杜援,邱阳,戚文敏,等. 浅谈移动通信系统中互调干扰的产生和排查[J]. 数字技术与应用, 2014(3): 40.
- [8] 弓永明,刘浩鑫,邱蕴. 功分器在相控阵馈电网络中的应用[J]. 电子科技, 2014(4): 85-87.
- [9] 赵建勋,陆曼如,邓军. 射频电路基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.
- [10] 朱辉. 实用射频测试和测量[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [11] 雷振亚. 射频/微波电路导论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [12] 中国移动通信集团公司. GSM天线设备规范[Z]. 2011.★

作者简介



吴卫华：工程师，学士毕业于武汉大学，现任职于武汉虹信通信技术有限责任公司天馈事业部，主要从事基站天线、多系统接入平台和无源器件的结构工艺研究工作。

一种基于多信道协作的Ad hoc组网的MAC实现

余红明, 腾潢龙

(中国电子科技集团公司第七研究所, 广东 广州 510310)

【摘要】 主要介绍了一种更高效的基于Ad hoc多信道协作的MAC接入方式和全网同步协议。这种实现方式能够增加组网的公共信道资源, 减少碰撞, 提升网络吞吐量, 具有很好的工程应用价值。

【关键词】 Ad hoc 多信道 MAC

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.006 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0029-04

引用格式: 余红明, 腾潢龙. 一种基于多信道协作的Ad hoc组网的MAC实现[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 29-32.

MAC Implementation of Ad Hoc Network Based on Multi-Channel Collaboration

YU Hong-ming, TENG Huang-long

(China Electronics Technology Group Corporation No.7 Research Institute, Guangzhou 510310, China)

[Abstract] An efficient MAC and network synchronization protocol based on Ad hoc multi-channel collaboration was introduced, which can increase common channel resource of network, reduce collision and enhance network throughput. It has better engineering application value.

[Key words] Ad hoc multi-channel MAC

1 引言

Ad hoc网络是一组带有无线射频的可移动终端组建的多跳自治系统, 具有易部署、自组织、无需借助基础设施等特点, 可广泛应用于军事、灾害救援和环境监测等领域。但由于网络受带宽资源限制、分布式竞争接入和动态拓扑等特性影响, 信道接入协议和路由协议受到极大的挑战。本文基于Ad hoc组网方式, 研究一种更高效的多信道协作的MAC接入方式和全网同步协议。

2 设计与实现

2.1 MAC层协议在移动Ad hoc网络中的分类

在移动Ad hoc网络中, 会有多个网络节点同时使用同一个无线信道的情况, 此时就需要MAC层协议来协调各个节点, 避免信道使用的冲突。对移动Ad hoc网络来说, MAC层协议的主要功能是无线信道的接入控制, 实现多个节点间分组传输和随机接入控制。需要解决以下3个问题:

- (1) 避免信道使用冲突问题;
- (2) 隐终端的问题;
- (3) QoS的支持保障等。

经过多年的研究, 业界已经提出数十种Ad hoc的

收稿日期: 2015-04-07

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

接入控制协议。目前按照Ad hoc网络信道接入使用的信道数目来划分，可以分为单信道和多信道MAC协议。

- (1) 单信道的主要MAC协议有：MACAW、MARCH、MACA、MACA-BI等协议；
- (2) 多信道的主要MAC协议有：多信道CSMA、DPC、DBTMA、PAMAS等协议。

2.2 单信道MAC机制的弊端

由于单信道的MAC采用单个信道，所有的节点共用同一个资源，如果有某个节点在传输数据，则其他相邻的节点就不能使用该信道，必然会造成 congestion 的问题，因此单信道方式信道利用率非常低。

如图1所示，当1号节点在传输数据时，如果4、5号节点也需要传输数据，则会造成公共信道资源冲突，不能完成传输。

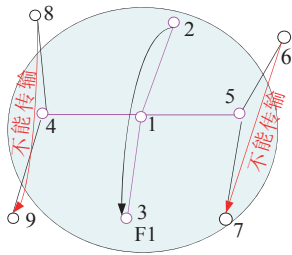


图1 单信道组网情况

如图2所示，如果此时采用信道协调机制的多信道组网方式，8、4、9预约同一个频点F2，5、6、7预约同一个频点F3，则可以将频点错开，不会造成网络拥塞，对网络吞吐量会有很大的提升（整个网络采用频分机制）。

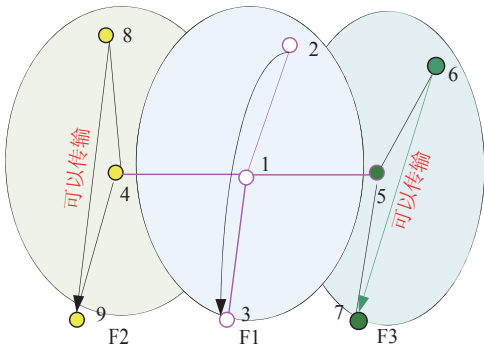


图2 多信道组网情况

2.3 多信道组网时间同步方案

(1) 多信道协作方式

在通信系统支持多个信道的前提下，可以将信道划分为控制信道（CCH）和多个业务信道（SCH），同时需要整个组网保持全网同步。具体如图3所示：

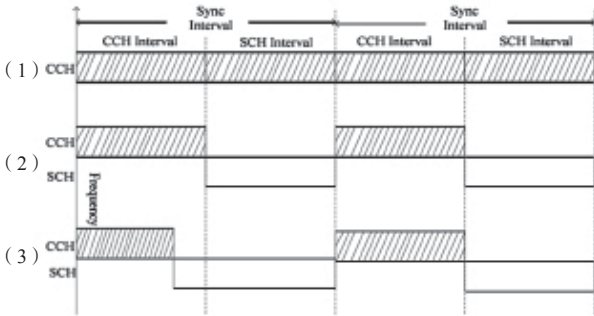


图3 多信道时隙划分情况

对于多个SCH而言，实际传输时各个业务信道的频点是分开的，这样能够保证频分复用。

而CCH的意义在于：多信道协商，就像开会一样，大家各个节点约定时间一起开会，分配好后续传输资源。如果大家都同意，就结束会议；如果不同意，则继续协商、分配。CCH的另一个作用就是广播：有重要事情在会议上广播一下，大家都能听到。

因为要确定什么时候开会（公共时隙）、在哪个地点（公共信道），所以需要全网时间保持一致，这样大家都能按时参加协调会议。

同步好后就开始预约。1号节点预约附近点的时隙，同意就应答一下；如果和其他点的预约有冲突，则回答不行，并进行调整。此过程是随机的，附近节点都可以预约，这样解决了附近点在下一时隙频率可能冲突的问题，通过这个覆盖到全网，保证全网频率错开且时隙不冲突。具体如图4所示。

全网在CCH上对后续在业务信道上采用哪个业务信道的哪个时隙进行预约。由于是成对预约，采用应答机制。应答成功后表示预约成功，后面在业务时隙同时采用该频率通信。如果预约失败（比如在对端看到有时隙冲突的情况），则发端再重新发起预约。如果时间不够，则考虑在后面的时隙发起预约。

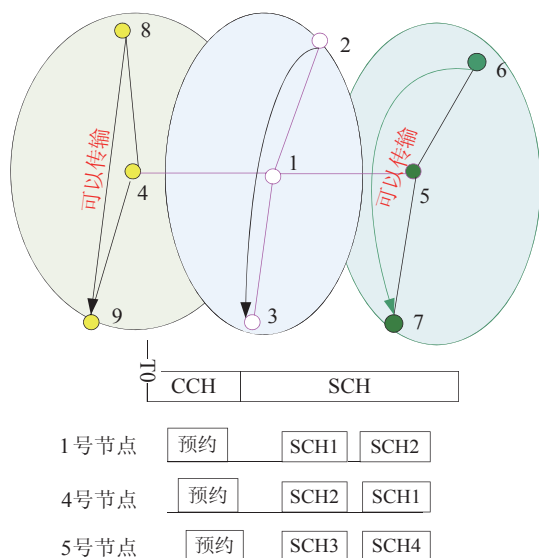


图4 各节点时隙预约情况

图5是各个节点间在公共信道和业务信道上的信息交互情况：

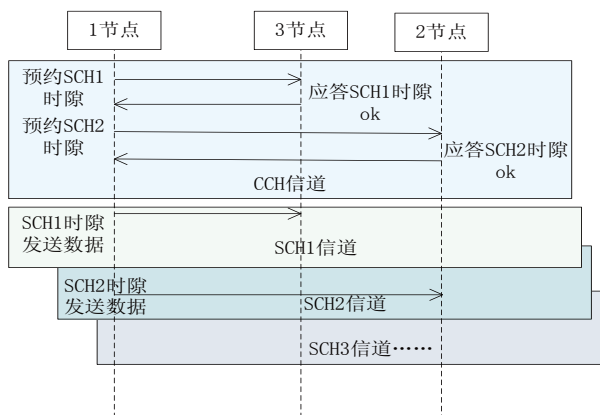


图5 各节点在公共信道上的时隙预约情况

(2) 网络同步基准实现

全网同步可以采用以下方案：

◆GPS或者北斗实现全网同步；

◆在同步覆盖距离比较近，不能覆盖全网的情况下，考虑时钟同步机制。

下面对时钟同步机制进行介绍：

网络采用群首的同步机制：群首产生，在开机后

监听网络，如果多个超帧没有收到网络信息，则将自己设置为群首，由群首来发送同步信息。

按建网节点为全网标准时钟，定义为0级时钟。该时钟精度最高，下一跳是1级时钟，低于0级时钟；再下一跳是2级时钟，以此类推。具体如图6所示：

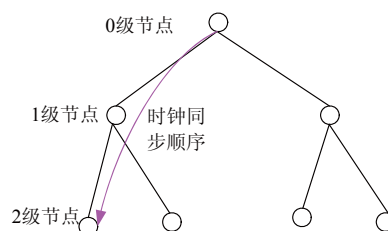


图6 网络节点的时钟层级关系

如果各级时钟不加补偿机制，则各级时钟会有偏差。如图7所示，此时全网时钟没有完全同步。

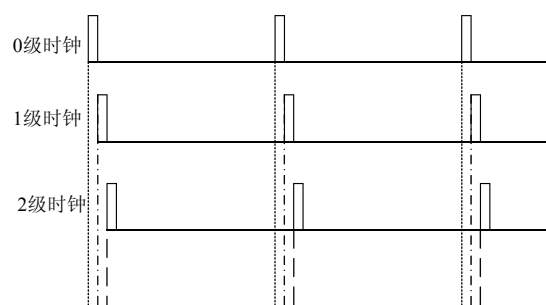


图7 网络同步的时间关系（未补偿前）

采用时钟补偿机制如下：0级网络节点广播0级时钟，1级网络节点收到0级时钟，及时修正自己的时钟，同时在随机时延后应答0级时钟，0级时钟接收到数据后，检测与0级时钟的偏差，广播发送1节点需要修正的偏差，使1级时钟和0级时钟没有偏差，1级时间同步完成。

1级和0级完成同步之后，按上述方法向下广播1级时钟，使2级时钟同步，以此类推，可使整个网络保持同步。全网同步以后，则可以区分是业务和公共控制信道，不会造成信道冲突情况。

时钟调整后的时序关系如图8所示。

2.4 系统仿真结果

针对上述组网搭建仿真环境，对组网的时延和丢

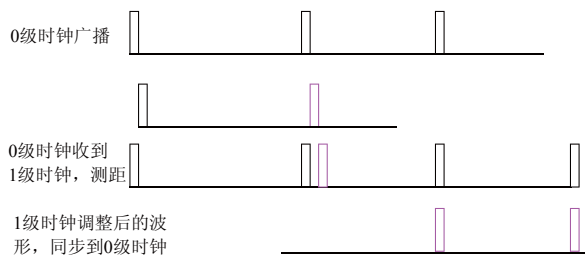


图8 时钟调整后的时序关系

包情况进行分析, 具体分析结果如图9和图10所示:

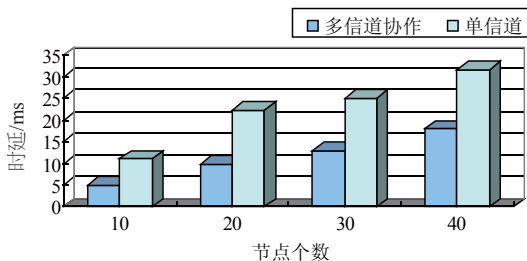


图9 不同组网方式的时延情况

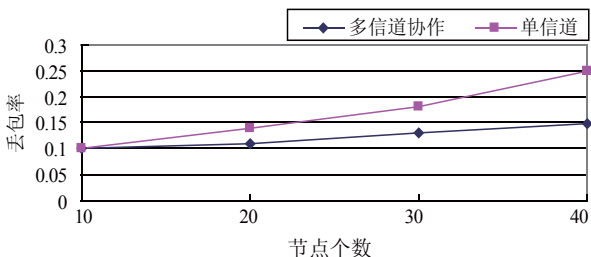


图10 不同组网方式的丢包率情况

由此可以看出, 随着节点数的增加, 时延和丢包率在单信道、多信道组网的情况下都有所增加, 这是因为节点密度增加后信道更加拥挤。但多信道协作的时延和丢包率明显低于单信道, 这说明多信道协作方式在Ad hoc自组网上对QoS有较大的改善。

3 结论

通过本文分析可以看出, 多信道组网较单信道在组网性能上有比较明显的优势, 在移动自组网上具有很好的应用价值。

参考文献:

- [1] 王金龙,王呈贵,吴启晖,等. Ad Hoc移动无线网络[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [2] 王娟,侯整风,丁凉. Ad Hoc网络中基于AODV协议的安全路由协议[A]. 全国第20届计算机技术与应用学术会议论文集[C]. 2009.
- [3] J Jubin, J D Tornow. The DARPA Packet Radio Network Protoc[J]. Proceedings of the IEEE, 1987,75(1): 21-32.
- [4] 苏俭,郭伟. 移动Ad Hoc网络服务发现协议综述[J]. 计算机科学, 2008,35(4): 23-27.
- [5] 孟洛明. 现代网络管理技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [6] 于铨. 基于Jini体系结构的分布式系统研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- [7] 沈晓松,宿景芳,武穆清. 基于ARM的嵌入式Ad Hoc网络平台的实现[J]. 电子设计应用, 2009(11): 64-66.
- [8] 陈林星,曾曦,曹毅. 移动Ad Hoc网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [9] 谢世欢,郭伟. 实现Ad-hoc按需路由协议的关键技术[J]. 计算机应用, 2006,26(3): 517-518.
- [10] 徐旭. 车载Ad Hoc网络路由协议的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008. ★

作者简介



余红明: 工程师, 毕业于西安电子科技大学通信工程专业, 现任职于中国电子科技集团公司第七研究所, 长期从事军用通信系统的研究与开发工作。



腾洪龙: 高级工程师, 毕业于北京理工大学计算机科学与工程专业, 现任职于中国电子科技集团公司第七研究所, 长期从事军用通信系统的研究与开发工作。

多径对室内外穿透损耗测试的影响

李建中¹, 葛慧明²

(1. 广州杰赛科技股份有限公司, 广东 广州 510310;
2. 中国联合网络通信有限公司广东省分公司, 广东 广州 510627)

【摘要】 通过对电波传播机制的研究, 分析了多径对室内外穿透损耗测试的影响, 并搭建测试环境进行验证, 给出了工程上穿透损耗测试方法的建议。

【关键词】 多径 反射波 包络 驻波 穿透损耗

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.007 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0033-04
引用格式: 李建中, 葛慧明. 多径对室内外穿透损耗测试的影响[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 33-36.

Impact of Multipath on Indoor and Outdoor Penetration Loss Test

LI Jian-zhong¹, GE Hui-ming²

(1. GCI Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou 510310, China;
2. China United Network Communications Co., Ltd., Guangdong Branch, Guangzhou 510627, china)

[Abstract] Based on radio wave propagation mechanism, the impact of multipath on indoor and outdoor penetration loss test was analyzed in this paper. Test environment was established and proposal on penetration loss test method was presented.

[Key words] multipath reflected wave envelope standing wave penetration loss

1 引言

中国的移动通信网络物理站址早已超过150万个^[1], 典型城区4G站距小于500m; 基本可以在城镇提供无缝的室外覆盖。研究表明, 随着移动通信网络的发展, 已从语音承载为主转向数据承载为主, 业务更多地集中于室内。伴随城市化进程的发展, 建筑物的数量和类型大幅增加, 受建筑物特性、通信建设受物业阻挠、用户对室内覆盖更加挑剔等因素的影响, 室内覆

盖问题越来越复杂, 已成为运营商关注的重点。

解决室内覆盖主要有2类方案: 合理增加宏基站的密度, 克服穿透损耗对室内覆盖的影响; 建筑物内部署分布式天线系统进行覆盖。利用宏基站进行覆盖, 单位覆盖成本更低, 施工维护方便, 是一般用户密度、中低业务密度区域的主流解决方案。设计的关键参数之一为穿透损耗的取定, 该参数对于基站覆盖半径的影响极为敏感, 是影响网络建设成本的主要因素^[2]。穿透损耗与建筑物墙体的材质、厚度及尺寸等有关, 不同地域的建筑物其特征显著不同。关于穿透损耗, 有学者以射线跟踪法^[3]、射线跟踪法和FDTD (Finite Difference Time Domain, 时域有限差分) 法^[4]的混合方法进行研究,

收稿日期: 2015-04-07

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

需要对建筑物进行准确的建模，参数取定及运算较为复杂，实际操作受到较大限制。工程上一般引用经验值^[5]或通过现场采样测试，对比室内外信号差异，对该参数进行修正和取定，获取更适合本地建筑特征的穿透损耗值。

本文主要对产生损耗的原理及工程上常用的测试室内外信号差值的确定穿透损耗方法的严谨性进行探讨，估算由于多径传播对测试结果的影响，并给出了改进建议。

2 传播机制

当电磁波在传播过程中遇到2种不同媒质的分界面时（例如从空气传播到楼宇外墙），因媒质的本质阻抗不同，电磁波在分界面上将产生反射和折射（透射）。入射波 E_0 的一部分 E_R 被反射，在第一种媒质中传播，另一部分 E_T 折射入第二种媒质。折射部分将继续传播，在到达墙面与空气界面时，将再次发生反射和折射。因此，穿透损耗主要由于能量被反射、折射部分的媒质吸收、墙体内部折射波的再次反射等多种因素的影响。

斜入射电波媒质表面的反射和折射如图1所示：

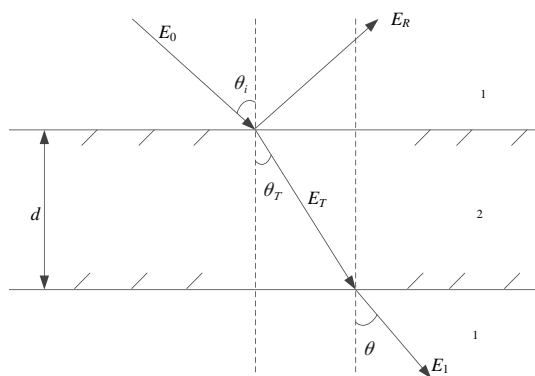


图1 斜入射电波媒质表面的反射和折射

产生的反射波和折射波特性与入射波的极化特性有关。以入射面为基准，把电场矢量平行于入射面的波称为平行极化波，把电场矢量垂直于入射面的波称为垂直极化波。任意极化波总可以分解成2个平行、垂直极化波来讨论^[6]。

折射角与入射角之间的关系可以根据2种媒质的介电常数来确定，其关系如下（斯奈尔折射定律）^[7]：

$$\frac{\sin^2 \theta_r}{\sin^2 \theta_i} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \quad (1)$$

电场的反射系数 R 定义为分界面上反射波的切向电场强度与入射波的切向电场强度之比；电场的传输系数 T 定义为分界面上折射波的切向电场强度与入射波的切向电场强度之比。

$$R_{par} = \frac{\cos \theta_i - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta_i}} \quad (2)$$

3 反射信号对室外信号的影响分析

在室外测试时，接收机天线收到的信号主要有2部分：信号源发射的直射波；经墙体反射后的反射波。如图2所示，即存在多径信号。根据反射系数公式，墙体的介电常数取8，可以估算出垂直入射时反射系数约为0.48。

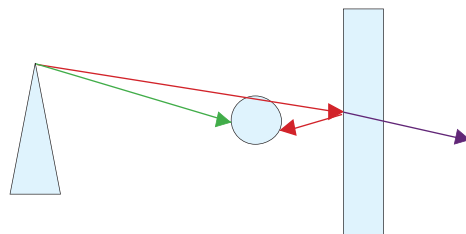


图2 多径传播示意图

存在入射波和反射波时，依据反射波存在与否及反射波的大小，波分为以下3种类型：

- （1）行波：即无反射波出现；
- （2）全驻波：即全部反射，其包络为以入射波半波长为周期的正弦波；
- （3）混合波：既有行波成分，又有驻波成分。

由于墙体不是理想导体，因此反射波是部分能量，接收机收到的将是混合波。当收发天线、反射点在一条直线上时，在沿着入射方向的路线上，接收信号的包络随距离变化。其幅度变化为 $E_0 - E_R$ 至 $E_0 + E_R$ ，幅度变化规律近似为周期是入射波半波长的正弦波。

当 $R=0.48$ 时,反射波的场强为 $0.48E_0$,接收机收到的混合波其幅度变化范围为 $0.52E_0$ 至 $1.48E_0$,最大值与最小值差别为2.8倍。此种情况下接收机测试到的能量在不同的位置应该有不同的强度。

4 现场测试情况分析

测试场景为:输出功率-10dBm,频率1 878MHz,发射天线距离墙面3.7m。接收天线自距离墙面0.32m处,以2cm的步长,垂直墙面往发射机方向移动。接收机采集速率约为100Samples/s,单点采集时间为20s。采集结果具体如表1所示:

表1 垂直方向测试结果

墙距/cm	32	34	36	38	40	42	44	46
电平/dBm	-75.93	-70.97	-64.14	-62.95	-66.17	-79.18	-68.58	-67.86
墙距/cm	48	50	52	54	56	58	60	62
电平/dBm	-76.94	-75.44	-66.22	-66.4	-74.04	-73.63	-68.43	-67.26

实测的接收信号有明显的周期性变化。由于场强峰值的位置与发射天线的位置、馈线的长度等有关,难以准确确定波峰的位置;同时,距离的测量也有一定的误差。因此,所采样的数值虽然呈周期性变化,但无法保证采样点的最大值即为场强最大值。

由于已知其场强的变化为正弦波特征,因此可采用拟合的方式,利用测试结果来获取其主要参数。拟合的变量为幅度、相移、幅度偏置。可以利用Excel规划求解的功能^[8],对3个变量进行求解。代价函数设定为拟合值与测试值的差异。由于变量少、值域窄,也可以采用VBA编程进行拟合。求解后可接受的场强相对值拟合结果为:幅度5.1、相移206°、偏置10.2。

测试数据折算后拟合结果如图3所示:

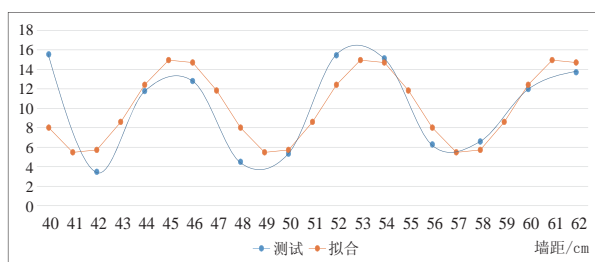


图3 测试数据折算后拟合结果

由此推算出场强最大值与最小值差别为2.9倍,对应接收电平(dBm)差异9.3dB。与理论推算极为接近。

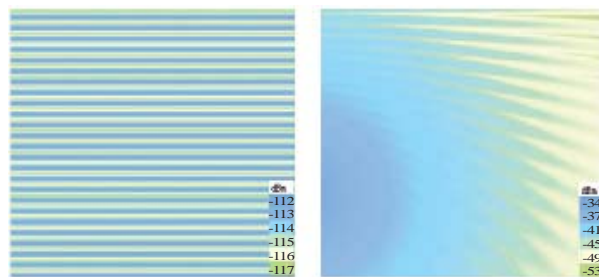
5 多径环境下室外信号分布

在平行于反射面的方向上,由于传播路径差变化缓慢,因此水平方向上接收场强随距离变化的周期较长,变化幅度较小。随着入射角的增大(入射方向与反射面法线的夹角),反射系数增大,由此电场的变化幅度也会增大。在一路反射波的情况下,距离差 d 为:

$$d = \sqrt{y_0^2 + \left[(x_1 - x_0) \times \frac{y_0}{y_1 + y_0} \right]^2} \times (y_0 + y_1) / y_0 - \sqrt{(y_1 - y_0)^2 + (x_1 - x_0)^2} \quad (3)$$

以墙面为坐标轴, x_0 、 y_0 为发射源位置, x_1 、 y_1 为接收机位置。

发射源(-10dBm, $f=1878\text{MHz}$)距离墙面200m、1.4m时,墙体室外局部的电平变化(2m×2m区域,1cm分辨率)情况如图4所示:



(a) 发射源距离墙面200m时 (b) 发射源距离墙面1.4m时

图4 室外多径环境下场强随距离变化情况

仿真显示,当发射源距离墙面较远(200m)时,局部区域的反射点及入射角变化较小,沿墙面平行方向场强变化较小;当发射源距离墙面较近(1.4m)时,水平方向变化较慢,0.5m的距离几乎无变化。这2种情况下垂直墙面方向场强均变化剧烈,视频段与墙面材质不同,数厘米的距离有5dB至10dB的变化。

因此,在通过测试室内外信号差值确定穿透损耗时,其测试结果主要取决于测试点离墙面的距离。以瓷砖墙面为例,测量值在直射波+2dB至直射波-6dB之

间。若室外以单点或天线距墙面固定距离连续移动方式测试时,室外场强由于多径的影响下,不同位置的测量值差异较大,随机误差大。且其测量中值将低于实际值2dB,即穿透损耗偏小,小区覆盖半径偏大。

根据理论分析及实际测试显示,外立面贴瓷砖的墙面反射了25%的能量;由于反射能量的影响,垂直方向1/4波长(约4cm)的距离变化内将引起近10dB的接收电平变化。玻璃材质的墙面(介电常数约为4^[9-10])约反射11%的能量,实测其接收电平变化约为6dB。根据3GPP的EPA(Extended Pedestrian A model)模型,第二径强度比主径低-1dB^[11],即复杂情况下短距离内快衰落将超过24dB。此时引起的测量误差更大,多径造成的接收电平变化不容忽视。

6 结论

由于多径的影响,室外接收电平与到墙面的距离强相关,在10cm的尺度上电平变化为5dB至10dB。单点采集或沿墙面方向移动采集时,随机误差较大,室外接收电平测量值低于实际值,会导致穿透损耗测试值偏小,其后果是室内实际覆盖效果劣于设计预期。因此,以对比室内外电平差方式测量穿透损耗时,应根据所测试的频段、信号源的位置,在室外距墙面不同距离的多个位置或以纵向小范围移动的方式采集足够多的样本进行计算来减少多径的影响。或者不采用对比室内外电平差的方式,而是选取室外为自由空间传播环境,通过修正传播距离,直接计算穿透损耗的方法来获取更准确的结果。

参考文献:

- [1] 中国信息产业网. 中国移动基站总数年底将达180万个[EB/OL]. (2014-06-26). http://www.cnii.com.cn/wireless/2014-06/26/content_1388371.htm.
- [2] Harri Holma, Antti Toskala. LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced[M]. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- [3] 季忠,黎滨洪,王豪行. 用射线跟踪法对室外至室内的电波传播进行预测[J]. 通信学报, 2001(3): 114-119.

- [4] 黄永明,吕英华,徐立,等. 以改进的混合方法预测室外到室内的电波传播[J]. 电波科学学报, 2003(4): 428-432.
- [5] Thomas Kurner, Alexander Meier. Prediction of outdoor and outdoor-to-indoor coverage in urban areas at 1.8GHz[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002(4): 496-506.
- [6] 赵家陞. 电磁场与微波技术[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [7] Kraus Fleisch. 电磁学及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [8] Frontline Systems, Inc. Excel Solver Help[EB/OL]. [2015-04-02]. <http://www.solver.com/excel-solver-help>.
- [9] 王仪财,吴孟强,许峰云,等. 石英玻璃的高温介电特性研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2005(S1): 387-391.
- [10] 百度百科. 介电常数[EB/OL]. [2015-04-02]. http://baike.baidu.com/link?url=VRd0I7QvD89qDW6YbXwcMAO_hAJFj4hIXwWLNK7ki00Q6owtBUndoFzFtO2T0l4WF5MbWA9PWWouLgzdjWjxa.
- [11] 3GPP TS 36.101 V9.9.0. User Equipment (UE) radio transmission and reception[S]. 2011. ★

作者简介



李建中: 工程师, 毕业于电子科技大学, 现任职于广州杰赛科技股份有限公司, 从事移动通信网络规划、优化工作, 主要研究方向为大数据、人工智能技术在移动通信规划优化中的应用。



葛慧明: 学士, 现任中国联合网络通信有限公司广东省分公司网络建设部副总经理, 主要研究方向为移动通信网络规划、天线及信号干扰。

基于TRIZ和专利规避的智能家居控制方案研究

周善明, 陈维斌, 宋进, 杨旭

(广州杰赛科技股份有限公司, 广东 广州 510310)

【摘要】 针对智能家居控制操作智能化的问题, 通过TRIZ创新工具深入分析问题的根源, 并运用矛盾矩阵形成有效解决方案。在对有效解决方案进行专利检索分析的基础上, 利用物质-场对发现的风险专利进行规避设计, 形成了创新的智能家居控制方案并申请多项专利, 体现了创新工具和专利信息情报在科技创新中相辅相成、互相强化的作用, 探索了一种基于创新方法和专利分析运用的融合创新机制。

【关键词】 发明问题解决理论 创新方法 专利 规避设计 智能家居

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.008 中图分类号: N949 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0037-06

引用格式: 周善明, 陈维斌, 宋进, 等. 基于TRIZ和专利规避的智能家居控制方案研究[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 37-42.

Scheme Research on Smart Home Control Based on Both TRIZ and Patent Evading

ZHOU Shan-ming, CHEN Wei-bin, SONG Jin, YANG Xu

(GCI Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou 510310, China)

[Abstract] According to control operation intelligentization in smart-home, root cause of the issue was analyzed by means of TRIZ tool and contradiction matrix was used form effective scheme. Based on patent retrieval of effective schemes, risky patent was converted to be evading design using matter-field. Innovative control scheme in smart-home was formed and multiple patents were applied for. Thus, the complementary and interdependent relationship between innovative tool and patent information in technology innovation was presented. It also explored new integrated innovative scheme based on innovative method and patent analysis application.

[Key words] TRIZ innovation method patent evading design smart home

1 引言

2012年2月工业和信息化部发布的《物联网“十二五”发展规划》中明确指出, 智能家居是物联网的重点应用领域之一。一年后, 《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》中提出到2015年, 实现物联网在经济社会重要领域的规模示范应用, 突破一批核心技术, 初步形成物联网产业体系。但时至今日, 智能家居仍然处于“叫好不叫座”的尴尬境

地, 一方面是由于智能家居价格仍未达到亲民的水平, 另一方面则是目前已有智能家居系统的普遍硬伤——控制繁琐复杂。因此, 要促进智能家居产业的发展, 还应在其控制方案上做变革, 让智能家居控制更具智能化。

2 研究方法概述

2.1 TRIZ创新方法

TRIZ意为“发明问题解决理论”, 国内也形象地翻译为“萃智”或“萃思”, 取其“萃取智慧”或“萃取思考”之义。TRIZ是经过长时间实践验证, 并

收稿日期: 2015-05-15

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

在各个领域中均获得过不菲成绩的知名创新方法，目前已经在欧美和亚洲发达国家、地区的企业得到广泛应用，大大提高了企业的创新效率。有研究表明，在技术研发中使用TRIZ，可以使新产品开发过程缩短50%的新产品上市时间，提升60%~70%的新产品开发效率，并可增加80%~100%的专利数量且显著提高专利的质量。

TRIZ是前苏联著名的发明家和创造家阿奇舒勒对数以百万计的专利进行研究，建立的一套体系化、实用的解决发明问题的理论方法。有组织就TRIZ的效用进行过实验：2组具有同等行业经验的工程师，A组经过了1周的TRIZ培训，B组未经过培训，在有限的时间内尝试解决相同发明问题，A组有68%的人得出了解决方案，B组只有2%的人得出方案，从而表明了TRIZ的有用性和高效性。

2.2 专利规避设计

随着知识产权制度的完善，研发伊始就需要考虑专利侵权的问题，否则等研发完成甚至产品上市时若发现研发成果是侵权的，研发单位将进退两难。这种现实倒逼着研发单位在研发设计开始和过程中就应该对研发方向及方案进行专利检索、对比，并在必要的时候对研发方案进行专利规避设计，尽可能保证研发方案不落入到风险专利的保护范围，且抢先将专利规避设计方案申请专利，保证自己产品在市场上具有基本对等的知识产权竞争力。

专利规避设计需要就目标市场的专利情况进行检索和分析，基于专利侵权判定原则和目标市场国家相关法律的要求，确定风险专利，并采用一定的创新方法如TRIZ，结合现有技术方案的和高侵权风险专利进行技术规避设计，获取专利规避设计方案。

3 基于TRIZ的智能家居控制方案分析

3.1 分析技术问题并明确发明问题

(1) 系统分析

功能是产品或技术系统特定工作能力抽象化的描述，而实现某种特定

功能的系统组件就是功能元，明确技术系统的功能元是后续利用TRIZ工具分析的基础。智能家居系统分析如表1所示：

表1 智能家居控制系统系统分析表

产品：智能家居控制系统		主要功能：控制设备	
超系统	系统组件	子系统组件	子-子系统组件
建筑	电力线路	电力线	/
		电力开关	/
	通信线路	通信线	局域网
		通信开关	互联网
	家电设备	设备本体	/
人	指令管理器（手机）	设备控制器	/
		硬件	/
		软件	/

(2) 功能分析和确定矛盾区域

功能分析的目的是对功能元之间相互的功能关系进行分析，进而明确系统中存在矛盾区域，并将矛盾区域明确出来。智能家居控制系统功能分析如图1所示。

通过图1可知，智能家居控制系统矛盾区域为：人操作指令管理器软件，用曲线箭头表示。

(3) 最终理想解IFR分析

最终理想解IFR是通过6个明确问题，一步一步推导出解决IFR关键问题的方向。智能家居控制系统最终理想解IFR的6个问题步骤如下：

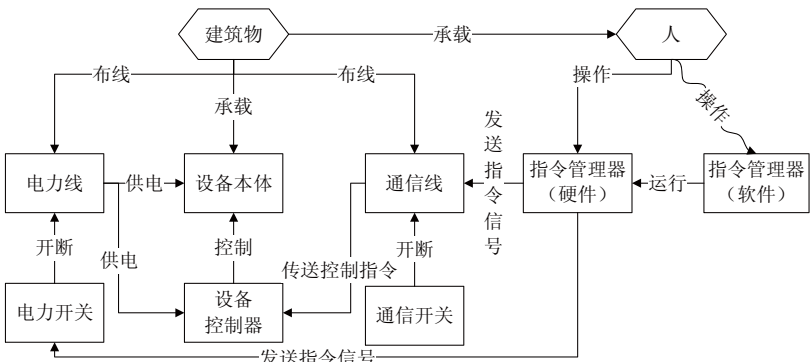


图1 智能家居控制系统功能分析图

1) 设计的最终目的是什么?

人可以轻松地控制智能家居里面的设备。

2) IFR是什么?

智能家居系统能自动完成人想要的操作。

3) 达到IFR的障碍是什么?

系统无法懂得人想要做什么。

4) 出现这种障碍的结果是什么?

系统控制只能有人通过控制器发出控制指令来实
现控制和操作。

5) 不出现这种障碍的条件是什么?

控制器自己能根据人的需求发出相应的操作指令。

6) 创造这些条件的可用资源是什么?

人、控制器、智能家居设备。

解决方案的方向: 控制器能预测人的各种需求,
自动生成控制指令并发送到智能家居系统的相应设备
中, 完成控制操作。

(4) 明确发明问题

通过上述分析可以明确发明问题为: 如何实现指
令管理器软件根据人的需求自动完成智能家居系统的
操作控制的问题。

3.2 选择TRIZ工具求解发明问题

(1) 多屏幕及资源分析

在完成问题分析后, 需进一步分析要解决该发明
问题, 手头可用的资源有哪些。如图2所示, 以指令管

理器(智能手机)作为资源分析对象, 利用多屏幕法
进行资源分析。

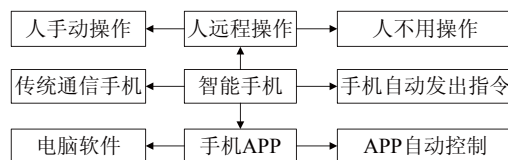


图2 智能家居控制系统多屏幕分析图

在多屏幕分析的基础上, 对该9种状态的物质资
源、场资源、信息资源、时间资源、空间资源和功能
资源进行进一步分析, 形成了表2。

(2) 利用TRIZ矛盾工具求解发明问题

TRIZ中可以这样理解矛盾, 它是内在要素、作用
或主张彼此不一致或相反的情景, 特别是指“双失”
情况, 即因为使用常规方法来改进当前问题情景而产
生无法忍受的后果, 解决了矛盾实际上就是解决了发
明问题。

在功能分析中确定矛盾区域为: 人操作指令管理
器软件, 那么下面对该矛盾区域分析, 转化出技术矛
盾和物理矛盾描述。

1) 利用矛盾矩阵求解

人操作指令管理器软件的矛盾中, 是希望达到操
作简单且同时不损害所要提供的所有操作功能, 即技
术矛盾表述为: “操作要简单”与“指令管理器软件

表2 智能家居控制系统资源分析表

系统	物质资源	场资源	信息资源	时间资源	空间资源	功能资源
智能手机	手机、空气	电能、机械能、光能	脑电波、代码指令	操作前、中、后	手机屏幕	通信、定位、存储、计算、收发
手机APP	手机	电能、机械能、光能	代码指令	接收前、后; 发送前、后	软件界面	计算、收发
人远程操作	人体、衣服	生物能	位置、习惯	在外, 在家	/	运动、思考
传统通信手机	手机、程序	电能	代码指令	运行前、后	程序界面	计算
手机自动发出指令	手机	电能	代码指令	发出前、后	软件界面	计算、发送
电脑软件	手机	电能	代码指令	接收前、后	软件界面	计算、接收
APP自动控制	手机	电能	代码指令	发送前、后	/	计算、接收
人手动操作	人、工作环境	生物能、机械能	位置、习惯	外出前、后	工作空间、回家路上	位置决定需求
人不用操作	人、家庭环境	生物能、机械能	位置、习惯	回家前、后	家庭空间	位置决定需求

控制功能丰富”之间的矛盾，表现为：需要优化的是操作变得简单，恶化的是指令管理器软件的控制功能将要变少。将矛盾转化为以下冲突标准参数：

◆改善的通用工程参数为：33、操作流程的方便性；

◆恶化的通用工程参数为：38、自动化程度。

对应的发明原理为：1-分割原理、34-抛弃或再生原理、3-局部质量原理，对这些原理的解读如下：

◆1-分割原理：所有需要的操作分割成需要人参与和不需要人参与，将不需要人参与的部分从指令管理器软件中剔除掉，使之操作简单；

◆34-抛弃或再生原理：针对不同的使用人或使用时间段，将不用的功能去除，在针对的人或时间段，功能再生，使不同的人或时间操作简单；

◆3-局部质量原理：改变场景可用性结构分布，即当人在家时控制可用性高，当人不在家时控制可用性低，包括停止所有非必要运行控制，从而让控制的可用性在空间位置上形成梯度。

2) 形成初步的方案以及评价

基于矛盾矩阵和分离方法求解获得的发明原理，得到以下4种技术方案：

◆方案1（根据34-抛弃或再生原理得到）

基于用户的类别提供控制服务：如为老人、小孩设置用户角色，设定用户模式，当该老人、小孩操作时，自动完成模式设置。

◆方案2（根据1-分割原理、3-局部质量原理得到）

基于时间和用户习惯的操作估计与实现：设定上班、到家时间，根据时间设定功能模式，开启相应操作。

◆方案3（根据34-抛弃或再生原理得到）

基于学习模式的操作和实现：设定用户角色并记录用户角色的操作习惯，包括操作对象、操作参数等，形成该用户角色的操作模式，当识别到用户进行操作时，自动调取该操作模式提示操作。

◆方案4（根据1-分割原理得到）

基于位置信息的用户操作估计和实现：利用指令管理器（手机）的定位功能资源获取用户的位置信息，判断用户的需求和不需求，提供相应的自动操作或操作呈现。

虽然方案1、2、3能在一定程度上解决发明问题，

但是成本、创新程度等都不符合理想解要求，而方案4则体现出更大的创新性，因此以方案4作为优选方案。

4 基于专利规避设计的智能家居控制方案分析

对方案4进行专利检索分析，查询在全球范围内与该技术手段和技术效果相当的现有技术情况。通过检索分析，发现并确认最接近现有技术为苹果公司在2014年1月1日于我国公开的一份标题为“基于估计的用户位置来控制装置”，公开号为CN103491498A的同族专利（优先权日为2013年6月9日）。

经分析，该专利所披露的技术方案的发明点是基于用户位置（即手机定位信息）作为控制指令的基本依据，方案4会落入到苹果公司该专利权利要求保护范围，如果该专利获得授权，直接实施方案4会涉嫌侵犯该专利权；如果基于方案4申请专利，将受到苹果公司专利的影响，失去可专利性。因此，有必要针对苹果公司的专利进行规避设计。

通过该专利进行功能分析，构建该专利保护技术方案模型图，如图3所示：

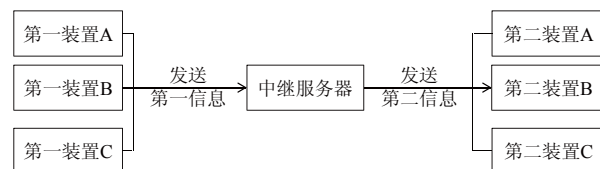


图3 苹果公司专利保护技术方案模型图

该专利保护技术方案中包含第一装置、中继服务器和第二装置，第一装置（如电话、平板电脑）向中继服务器提供第一信息（如位置信息），中继服务器基于第一信息推断人的位置，并向第二装置（如照明系统、安全系统）发送第二信息，第二信息中包含中继服务器推断的人的位置以及基于该位置的操作指令。基于专利规避设计的思路，通过去掉、替换专利技术保护方案中某个/某些必要功能元而将其功能转移到系统中其他功能元上，使得系统仍可正常工作，即可得到不落入专利保护范围的规避设计方案。因此，初步专利规避设计方案模型图如图4所示。

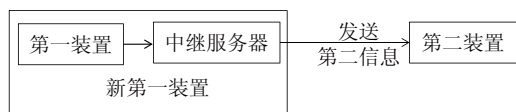


图4 初步专利规避设计方案模型图

组合第一装置和中继服务器的功能构成新第一装置，能同时实现获取位置信息、推断人的位置以及发送包含人的位置的操作指令到第二装置的功能。现有技术中，利用智能手机结合APP的方式，可完成定位、存储、计算、发送等第一装置和中继服务器的相应功能，第二装置可处于局域网中与新第一装置联网通信。因此，初步专利规避设计方案在现有技术的条件下具备可行性，但同时发现了新的问题，如图5所示：



图5 初步专利规避设计方案的问题示意图

在专利技术保护方案中的中继服务器收集多个第一装置的位置信息后，经过合规算法得出第二信息（指令）发送到第二装置，而在专利规避设计方案中，则会存在多个新第一装置同时或先后向第二装置发送第二信息（指令），没有了中继服务器的鉴别和选择，会造成第二装置接收到的控制指令混乱。

为了解决初步专利规避设计方案的问题，构建物质-场模型，如图6所示：

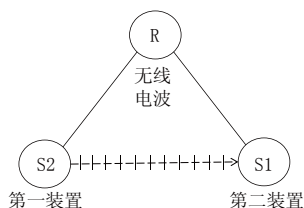


图6 专利规避设计方案物质-场模型图

第一装置S2通过无线通信网络R向第二装置S1发送第二信息，但当多个第一装置S2向同一个第二装置S1发送第二信息时，会造成信息指令的混乱，表现为产生过度作用。

根据物质-场模型分析，该物质-场模型属于模型不完整（缺少原中继服务器的部分功能），运用标准

解第1.1子级求解：

解法1：S1.1.2在S2中引入内部添加物S3，将S2对S1的过度相互作用滤除掉：第一装置中添加一个关联模块，在发出指令之前，关联模块获取其他第一装置位置信息和控制信息，再确定是否需要第二装置进行控制。

解法2：S1.1.4利用环境中已有资源实现需要的变化，S1的控制状态通过R场（通信网络）周期性返回到S2，S2的控制指令参考S1的当前状态决定是否要控制，从而过滤掉S2对S1的过度相互作用：第一装置获得第二装置的控制状态信息，确定是否需要第二装置进行控制。

相比较而言，解法1的成本更低，现有资源基本已经达到要求，无需额外增加硬件资源，而解法2对第二装置要求高，将降低方案的适应性，因此基于解法1完善获得最终解决方案。

5 最终解决方案介绍

基于TRIZ创新方法和专利规避设计，得到智能家居控制方案，如图7所示：

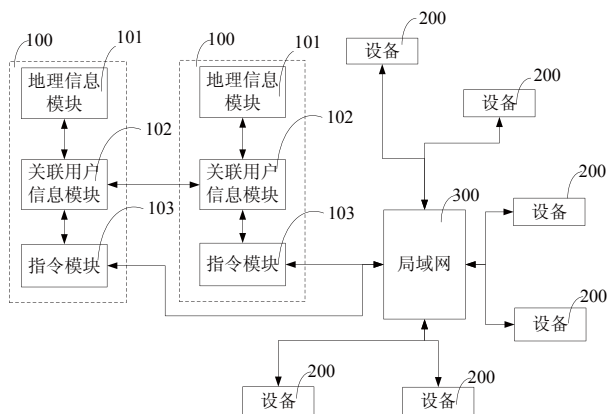


图7 智能家居控制系统方案模型图

智能家居控制系统包括指令管理器100、局域网300和家居设备200。指令管理器100包括地理信息模块101、关联用户信息模块102和指令模块103，其中：

（1）地理信息模块101用于获取与指令管理器100相关的地理信息，并将地理信息传送到关联用户信息模块102中；

(2) 关联用户信息模块102用于接收其他指令管理器100中的地理信息和指令模块103发出过的指令信息;

(3) 指令模块103根据当前指令管理器100的地理信息和其他关联指令管理器100的地理信息、指令信息,自动生成相应控制指令,并通过局域网300将相应的控制指令传达到指定的家居设备200执行。

6 结束语

党的十八大明确提出“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑,必须摆在国家发展全局的核心位置。”强调要坚持走中国特色自主创新道路、实施创新驱动发展战略。在2015年3月13日出台的《中共中央 国务院关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》中,强调了创新和知识产权的结合,利用知识产权的保护营造激励创新的公平竞争环境。因此,创新应该在充分尊重他人知识产权的基础上进行,创新也必须要有自己的知识产权保护。

本文通过对现有智能家居控制系统进行分析,利用TRIZ创新方法获得有效的解决方案,根据所获得的解决方案进行专利检索分析,并利用专利规避设计理论和TRIZ方法对解决方案加以改进,获得有效的专利规避设计方案,且就专利规避设计方案申请了4项发明专利。在本研究过程中,探索了基于创新方法和专利检索、分析的融合创新机制,利用创新方法获取技术问题的高效解决方案,同时形成有效的知识产权,体现了创新工具和专利信息情报在科技创新中相辅相成、互相强化的作用。

参考文献:

- [1] 林岳. 创新方法教程(初级)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 51-181.
- [2] 李彦. 创新方法教程(中级)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 110-181.
- [3] 檀润华. 创新方法教程(高级)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 44-68.
- [4] Genrich Altshuller. 寻找创意TRIZ入门[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 136-234.
- [5] 杨铁军. 专利分析实务手册[M]. 北京: 知识产权出版社, 2012: 71-87.

- [6] 甘绍宁,曾志华. 专利信息利用实践[M]. 北京: 知识产权出版社, 2013: 49-58.
- [7] 甘绍宁,曾志华. 专利竞争情报理论与实践[M]. 北京: 知识产权出版社, 2013: 60-80.
- [8] 王衍. 专利分析在企业竞争情报中的应用研究[J]. 情报探索, 2012(1): 58-61.
- [9] Robert Cantrell. Patents Intelligence—Information to Compete Before Products are Launched[J]. Competitive Intelligence Review, 1996,7(1): 65-69.
- [10] Meng-Jung Shih, Duen-Ren Liu, Ming-Li Hsu. Discovering Competitive Intelligence by Mining Changes in Patent Trends[J]. Expert Systems with Application, 2010(37): 2882-2890. ★

作者简介



周善明: 知识产权经理、全国专利代理人、全国二级创新工程师、全国知识产权高水平师资队伍, 学士毕业于武汉大学, 现任职于广州杰赛科技股份有限公司, 从事知识产权管理和研究工作。



陈维斌: 高级工程师, 学士毕业于华中科技大学, 现任职于广州杰赛科技股份有限公司, 从事科研项目、质量管理体系和知识产权管理等工作。



宋进: 硕士毕业于四川大学, 现任职于广州杰赛科技股份有限公司科技质量部总经理, 从事体系建设、管理和知识产权等工作。



杨旭: 硕士毕业于华南理工大学, 现任职于广州杰赛科技股份有限公司科技质量部副总经理, 从事科研项目、信息化和知识产权管理等工作。

基于逆向工程的4G标准化设计系统研究

戚娜, 李刚

(中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司, 黑龙江 哈尔滨 150080)

【摘要】 针对目前4G设计中大量采用通用CAD基本图元进行绘图设计, 导致设计效率和质量较低、后续设计信息统一管理困难、难以实现设计信息自动传递到资源管理系统等问题, 提出了一种基于逆向工程的4G标准化设计及信息管理系统。该系统基于行业设计标准, 结合逆向工程原理, 建立网元模型和设计信息标准库, 采用参数化设计方法及特征造型技术, 实现4G图纸的标准化绘制和设计信息的智能管理, 提高了4G工程设计效率和质量, 提升了图纸管理信息化、标准化水平。

【关键词】 4G 逆向工程 CAD二次开发 标准化设计

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.009 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0043-05
引用格式: 戚娜, 李刚. 基于逆向工程的4G标准化设计系统研究[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 43-47.

Research on 4G Standardized Design System Based on Reverse Engineering

QI Na, LI Gang

(China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Heilongjiang Branch, Harbin 150080, China)

[Abstract] At present, commonly-used AutoCAD base entities are widely adopted in 4G engineering design, which result in low designing efficiency and quality, difficult management of subsequent designing information statistics, difficulty in automatically transferring design information to resource management system. In view of this, a system of 4G standardized design and information management based on reverse engineering was proposed in this paper. Considering industrial designing standard and reverse engineering principle, network element model and designing information library were established in the system. In addition, parametric feature modeling technology was used to implement 4G standardized drawing and intelligent designing information management, improve designing efficiency and quality and enhance informationization and standardization level of drawing management.

[Key words] 4G reverse engineering AutoCAD secondary development standardized design

1 引言

随着4G规模化应用, 4G系统设计成为今后移动通信行业的重要工作之一^[1]。目前, 4G系统设计过程的大量绘图工作主要利用通用CAD中的基本图元完成, 大量重复性的设计工作由人工完成, 导致产品设计效

率和非标准化等问题。同时, CAD自身无法实现后续统计以及智能识别设备型号、尺寸和位置等各项信息管理功能。

为解决传统4G系统设计过程中存在的上述问题, 目前行业内已尝试开发专用4G智能化软件来提高产品设计过程的规范性, 但现有的4G智能化软件依然由设计人员手动绘制图纸, 在使用过程中容易引入资源遗漏和设计误差, 对产品图纸进行校对和改正过程繁琐。

本文基于逆向工程^[2-3]原理, 依据行业设计标准建

收稿日期: 2015-05-18

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

立网元模型和设计信息标准库，采用参数化设计方法及特征造型技术^[4]，实现4G图纸的逆向标准化绘制；同时提供资源统计和信息管理功能，提高了4G工程设计效率和质量，提升了图纸管理信息化、标准化水平^[5-6]。

2 4G逆向工程设计方法

目前行业内已有的4G智能化设计软件通常按照“模型选择—图形绘制—图纸输出”（又称为正向4G图纸绘制）过程进行4G系统的设计。该类方法首先需要根据4G系统的设备类型，在图纸绘制环境（如AutoCAD）中建立相应的网元模型；随后根据4G系统中所需设备类型，在绘制环境中选择相应的网元模型，在设计场景中进行放置和设备属性配置；最后将设计完成的图纸输出为4G图纸（如*.dwg）文件^[7]。

在正向4G图纸绘制过程中，网元模型在设计场景中的放置准确度是决定4G绘制质量的重要因素。随着4G技术的不断发展，4G系统设计的复杂性也日渐提高，在4G工期紧张和设计场景有限的条件下，通过人工方式放置大量设备网元模型极易产生精度误差和设备遗漏，导致4G设计质量的降低。

在系统工程领域中，根据设计结果进行逆向追溯，寻找系统设计的原始元素，进而为系统设计提供更加有效的途径是逆向工程的主要思想。本文以上述思想为基础，提出逆向4G图纸绘制方法，即：首先通过4G设计结果（4G图纸）逆向分析，提取构成其主要元素的设计信息；随后通过设计信息的可视化录入生成绘制设计文件；最后通过4G图纸逆向绘制过程解析已有的绘制设计文件，并加载相应的网元信息，完成4G图纸的生成。4G正向与逆向图纸绘制流程如图1所示：

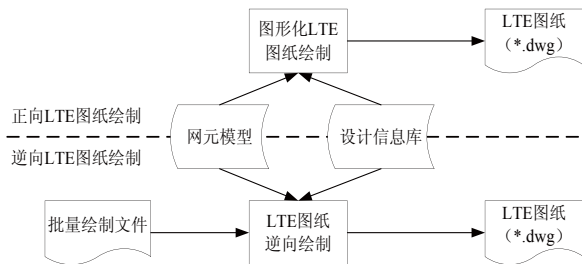


图1 4G正向与逆向图纸绘制流程

与4G正向图纸绘制流程相比，逆向图纸绘制流程通过建立设计信息库和填写绘制设计文件替代图形化4G图纸绘制过程，避免了人工操作软件方式放置大量设备网元模型容易产生较大的误差，因此能够有效地提高设计的准确性。

3 系统实现原理

为实现4G逆向图纸绘制、资源统计和信息管理等功能，本文设计了逆向4G标准化图纸绘制及信息管理系统。系统总体结构如图2所示：

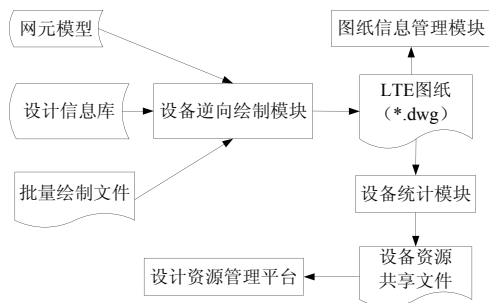


图2 系统总体结构

整个逆向4G标准化图纸绘制及信息管理系统由图纸逆向绘制模块、图纸信息管理模块和设备统计模块组成。

（1）图纸逆向绘制模块根据绘制设计文件中的相关信息从设计信息库中加载相应的设备信息，并匹配设备对应的网元模型进行图纸绘制；

（2）图纸信息管理模块实现图衔信息批量交互、自动生成图纸目录、图纸文件自动编号、图纸信息查询和图层批量控制等功能；

（3）设备统计模块提供对4G系统已绘制设备的信息统计汇总、多设备列表显示、设备属性值并行修改和同步、导出和导入汇总信息等功能。

此外，整个系统可将最终设计结果输出为设备资源共享文件，供后续设计资源管理平台使用。

3.1 标准化网元模型构建

系统基于参数化设计方法和特征造型技术进行标准化网元模型的构建。参数化（Parametric）设计应用到网元模型中是指参数化图元，参数保存了图元作为

网元设备的所有信息，网元之间通过参数的调整来区分。标准化网元模型构建过程如图3所示：

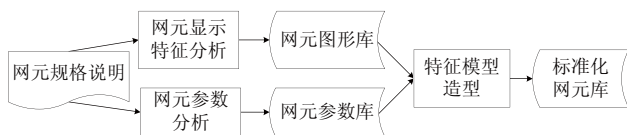


图3 标准化网元模型构建过程

利用各类网元规格说明分别进行网元显示特征分析和网元参数分析，进而得到相应的网元图形库和网元参数库，图形库与参数库经过特征造型技术进行融合形成标准化网元模型库。利用标准网元模型，通过抽取网元的特征信息与用户的意图进行信息交互来实现参数化设计。

3.2 设计信息标准库建立

系统结合4G工程实际需求，集合各个类型、厂家、型号的设备单元信息，利用标准化的网元模型库，建立了一套绘图设计信息标准库。信息标准库提供了专业—类型—具体设备单元三级信息目录供设计人员查询使用，其中设备单元属性配置了当前设备的默认网元模型和默认设计信息。设计人员可以直接利用标准库的设备单元进行设计，也可以对设备单元属性值进行编辑来更改使用的网元模型和参数信息，进而达到参数化设计的目的。

信息标准库的呈现是系统利用统计完成的设备单元属性信息文件（Excel），结合网元模型库，经过系统内部配置最终转换为树形三级索引结构图库^[8]。

3.3 逆向图纸绘制

逆向图纸绘制的前提是建立了设计信息标准库和

编辑绘制设计文件（Excel），设计信息标准库通常在系统使用前就构建完成。绘制设计文件格式具体如表1所示。

设计人员按照规定的文件格式填写具体的设备实体信息，主要包括显示序号、设备方向、机面显示、是否新增、厂家、型号、宽/深/高、单位、数量、备注、X/Y坐标和所属类型。其中，设备方向、是否新增、宽/深和所属类型是必填项。所属类型对应设计文件（Excel）的sheet名称，并且应与设计信息标准库中的二层目录（类型）严格对应。系统根据设计文件中的各项信息依次绘制出各设备实体，对于坐标未知的设备，则从原点依次排列对齐。

3.4 资源信息统计

资源信息统计提供对4G系统已绘制设备的信息统计汇总、多设备列表显示、设备属性值并行修改和同步、导出汇总信息和导入汇总信息5个功能^[9]。用户可以通过手动选择要统计的设备块，也可以选择自动获取所有已经绘制的设备块，确定要统计的设备后，按照设备类型对多个设备的属性信息进行分类汇总显示，用户可对列表中的设备信息进行修改，同时同步到设备属性参数中。该模块提供对汇总的设备和属性信息的导出功能，供资源管理平台共享信息，目前导出文件的格式主要是Excel，也可根据用户的需求定制导出各种类型（Access、TXT、Excel、Oracle、SQL Server等）的数据文件。汇总信息的导入功能提供用户对外部属性文件的导入，并按照属性文件重新配置各设备的属性信息。设备统计输出流程如图4所示。

3.5 图纸信息管理

图纸信息管理^[10-11]提供对4G系统已绘制的图纸资

表1 绘制设计文件格式

名称	显示序号	设备方向	机面显示	是否新增	厂家	型号	宽/mm	深/mm	高/mm	单位	数量	X坐标/mm	Y坐标/mm
TD-LTE无线机架	3	下	是	原有	华为	RBS2202	600	400	1 628	架	1	4 188	0
												3 588	0
蓄电池组	6	下	是	新增	南都	RBS2202	600	400	1 628	架	1	2 988	0
组合开关电源	8	下	是	原有	艾默生	DBBP530	600	450	1 600	架	1	2 830	2 237

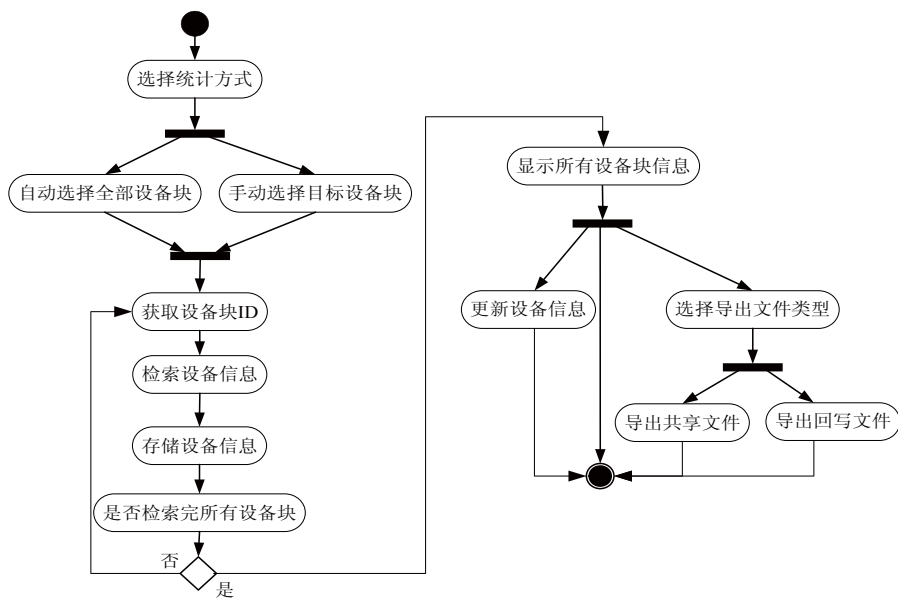


图4 设备统计输出流程

源（.dwg）进行图衔信息批量交互、自动生成图纸目录、图纸文件自动编号、图纸信息查询、图层批量控制5个功能。

（1）图衔信息批量交互可以从所选多张图纸中快速提取出图名、图号等信息，同时也可逆向将更改后的图名、图号等信息同步回图纸中；

（2）自动生成图纸目录可从所选的多张图纸中自动提取相关信息，并且按照标准的图纸目录格式生成相应图纸目录文件；

（3）图纸文件自动编号为设计人员提供对多张图纸的规范管理，用户只需选择要处理的文件后录入开始编号，系统自动为所选文件进行有序编号；

（4）图纸信息查询功能为用户提供一个文本录入平台，系统根据用户录入信息对文件名和文件内容进行遍历查询，并将相关内容图纸依次显示，供用户调用；

（5）图层批量控制功能提供对多个图纸文件同时进行多个图层的打开和关闭功能，便于用户查看和打印图纸。

4 系统应用

该系统已经在中国移动设计院黑龙江分院各业务区试用，并在陕西分院、四川分院、山东分院交流推

广。软件安装后，点击设备菜单项中的绘制导航，可弹出已配置的设计信息标准库，利用标准库和绘制设计文件（Excel）实现逆向图纸绘制，配合参数表生成、图例和说明生成等功能依次实现设备安装表、图例和说明的自动生成。对于已绘图纸，可进行资源信息统计和图纸信息管理。图5所示为该系统主界面及应用实例，实现逆向图纸绘制、资源信息统计和图纸信息管理3类功能。

本软件具有以下特点：

- （1）面向网元的产品设计；
- （2）敏捷快速设计；
- （3）智能性：由查勘文件自动生成图纸资源；
- （4）规范性、开放性、适应性。

5 结束语

本文基于逆向工程和产品特征化思想，开发了一种基于逆向工程的4G图纸绘制及信息管理系统。利用参数化设计实现了标准网元模型和设计信息标准库的构建，基于AutoCAD二次开发进行了软件实现。实际应用表明，该系统可以显著减少4G系统设计过程中的绘图工作量，提高设计效率和质量，减少设计成本，实现设计信息和资源管理信息一体化。



图5 系统运行界面

参考文献：

- [1] 王映民,孙韶辉. TD-LTE技术原理与系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010.
- [2] 宫文峰,黄美发. 逆向工程技术的应用与研究[J]. 机械设计与制造, 2013(1): 110-112.
- [3] 孙文涛,董斌. 产品设计中逆向工程技术应用研究[J]. 包装工程. 2014(12): 18-21.
- [4] 张善辉,杨超英,何海波. 基于特征和参数化的设计导航在活塞设计中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014(5): 33-35.
- [5] 马益平,李永腾. 基于GIS的配网工程CAD系统标准化设计[J]. 机电信息, 2014(36): 135-136.
- [6] 李新. 敏捷开发平台的设计[J]. 计算机工程与设计, 2012,33(9): 3604-3608.
- [7] 于颖黎,钟越. CAD图纸管理系统设计与实现[J]. 科技资讯, 2012,10(29): 15-21.
- [8] 颜立坤. CAD图纸文本信息提取与处理技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2010.
- [9] 黄靖. CAD信息提取及处理技术的研究[J]. 电脑知识与技术, 2012,8(25): 6129-6132.
- [10] 苏湘. 数字化工程管理与建筑CAD图形智能识别的分析探究[J]. 电子测试, 2013,11(17): 121-124.

- [11] 朱宗喜,程耀东,王博. 基于CAD二次开发技术的钢桁梁桥参数化绘图研究[J]. 铁道标准设计, 2014(10): 78-82.★

作者简介



戚娜：硕士，现任职于中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司，主要研究方向为CAD二次开发和计算机软件工程方向。



李刚：教授级高工，现任职于中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司，互联网和自动控制双专业高级工程师，黑龙江省信息产业厅高级职称评审专家，主要研究方向为CAD、移动通信设计咨询、互联网。多次荣获工信部、移动集团、黑龙江省优秀论文和科研成果奖。

基于P2010的ReWorks操作系统应用及分析

雷鹏¹, 生盛义²

(1. 中国电子科技集团公司第七研究所, 广东 广州 510310;
2. 中国人民解放军第二炮兵驻广州军事代表室, 广东 广州 510310)

【摘要】 随着国家信息安全意识的提高和嵌入式操作系统国产化平台在多种行业的推进, 针对某核心网交换设备及使用的FreeScale P2010处理器的特性, 深入分析ReWorks操作系统的BSP开发、图形支持、VxWorks兼容层设计及应用移植的方法和步骤, 并对ReWorks和VxWorks操作系统进行对比分析, 得出ReWorks操作系统不仅基本实现了核心网交换设备的功能, 还大大提升了软件的安全性和自主可控能力。

【关键词】 ReWorks 嵌入式操作系统 FreeScale P2010 板级支持包

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.010 中图分类号: TP316.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0048-06
引用格式: 雷鹏, 生盛义. 基于P2010的ReWorks操作系统应用及分析[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 48-53.

Application and Analysis of ReWorks Operating System Based on P2010

LEI Peng¹, SHENG Sheng-yi²

(1. China Electronics Technology Group Corporation No.7 Research Institute, Guangzhou 510310, China;
2. The Second Artillery Force of the PLA in Guangzhou Factory Military Representative Room, Guangzhou 510310, China)

[Abstract] With both the improvement of national information security awareness and the promotion of domestic platform based on embedded operating system across sectors, according to core network switching equipment and the features of its FreeScale P2010 CPU, the method and its steps of ReWorks operating system (OS) in BSP development, graphics support, VxWorks compatibility layer design and application transplantation were analyzed in depth. By comparing ReWorks and VxWorks Oss, it demonstrated that the latter not only basically implements the functions of core network switching equipment, but also highly enhances security and independent control capability.

[Key words] ReWorks embedded operating system FreeScale P2010 board support package (BSP)

1 引言

现代化的战争已经从机械化军事形态转变为信息化军事形态, 信息已经成为现代战争的制高点, 谁掌握了信息, 谁就有了现代战争的发言权。而信息安全更是提升为信息化军事的重中之重, 只有发挥国产化软硬件的“安全、可靠、可控”特点, 使其在信息安

全的源头上发挥顶梁柱作用, 才能在核心操作系统和芯片上摆脱西方发达国家的控制, 提高设备的安全性和保密性, 最终主宰自己在现代军事的主动权。

目前主流的嵌入式操作系统为Wind River System公司开发的VxWorks。但是, 正如Microsoft控制的Windows XP操作系统一样, 面临着可能“被终止”、“被渗入”和“被后门”的信息安全风险。因此, 嵌入式操作系统的国产化及应用研究也被提升到关系国家安全的地位。

收稿日期: 2015-04-13

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

随着核心网的快速发展，其安全性和重要性逐步提高，其中交换设备的自主可控也显得尤为重要。通过对现役的某核心网的交换设备进行嵌入式操作系统的国产化的探索性研究和应用验证，积累对主流硬件平台的适应性开发经验，最终提升自主可控平台的装备适应性和应用水平，满足国产关键软硬件对新一代装备发展的需求。

2 系统设计及软硬件环境

2.1 产品应用分析

核心网交换设备采用飞思卡尔（FreeScale）的P2010处理器和VxWorks6.8操作系统，主要功能需求如下：

- （1）支持全中文人机界面；
- （2）主要实现多网系混合组网功能；
- （3）支持多类终端设备的随遇接入；
- （4）支持系统动态路由和基于全IP的数据、话音业务交换；
- （5）支持二层VLAN（Virtual Local Area Network，虚拟局域网）管理和网管代理；
- （6）支持文件系统和丰富的网络协议栈，其中具体使用的网络协议栈如下：

- ◆支持TCP（Transmission Control Protocol，传输控制协议）/IP协议栈（IPv4、ICMP、ARP、IGMP、TCP/UDP）；
- ◆支持BSD、MUX接口；
- ◆支持Socket；
- ◆支持DHCP（Dynamic Host Configuration Protocol，动态主机配置协议）、Ping；
- ◆支持Router Stack；
- ◆支持Telnet；
- ◆支持FTP（File Transfer Protocol，文件传输协议）/TFTP（Trivial File Transfer Protocol，简单文件传输协议）；
- ◆支持按照路由表实现IP转发；
- ◆支持END（Enhanced Network Driver，增强型网络驱动）网络驱动；
- ◆支持MIB（Management Information Base，管

理信息库）；

- ◆支持SNMP（Simple Network Management Protocol，简单网络管理协议）；

- ◆支持二层VLAN的配置。

2.2 软件开发环境分析

华东计算技术研究所开发的ReWorks/ReDe嵌入式实时操作系统及开发环境提供符合IEEE POSIX 1003.13-2003/POSIX 1003.1-2001实时规范的接口和VxWorks5.5兼容接口，可以以极小的代码修改完成操作系统的软件移植，是使用VxWorks操作系统的核心网交换设备进行操作系统国产化的最好选择。

ReWorks实时嵌入式操作系统采用先进的面向对象和微内核技术开发，具有强实时性、可裁剪性和可伸缩性，并特别提供了VxWorks兼容层，方便应用程序的移植和二次开发。

ReDe：与ReWorks相配套的、继承嵌入式软件设计、开发、调试、仿真、测试和集成部署为一体的嵌入式软件开发环境^[1]。

2.3 硬件开发环境分析

交换设备的P2010处理器使用高性能的e500 Power Architecture内核，并对外围电路进行了网口和串口的扩展。交换设备的硬件资源如表1所示：

表1 交换设备硬件资源

序号	硬件类别	硬件类型	数量	备注
1	CPU	P2010	1	/
2	内存	板载DDR2/DDR3	1	512M，可扩展2G ^[2]
3	网卡	Intel82574	4	10/100/1 000Mbps
4	显卡	8bit TTL和LVDS	1	可接EL、STN及TFT等液晶显示屏
5	I2C	I2C	2	/
6	eSPI	eSPI	1	/
7	PS/2	PS/2	2	/
8	串口	支持3路R232	4	/

3 技术方案

3.1 BSP软件的开发

在ReWorks系统中，将BSP（Board Support Package，板级支持包）定义为底层硬件环境和ReWorks

之间的接口，它的主要功能是系统加电后初始化目标机硬件、初始化操作系统及提供部分硬件的驱动程序，其中最基本BSP只需实现处理器复位、初始化、驱动串口和必要的时钟处理功能^[3-4]。基于ReWorks操作系统4.7版本的BSP，P2010处理器的开发流程如图1所示：

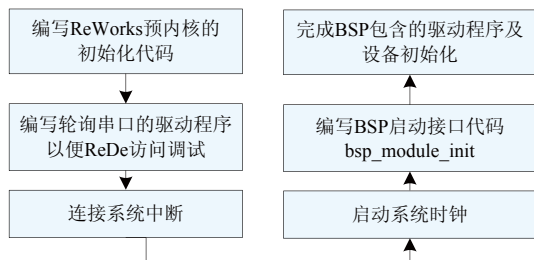


图1 BSP开发流程

在ReWorks操作系统中，提供了标准的预内核初始化代码，串口轮询驱动程序及中断、时钟挂接程序，仅需要针对P2010进行的是BSP启动模块的修改和相关硬件驱动的开发。

(1) BSP模块启动

在ReWorks操作系统中，BSP模块启动是在bsp_module_init函数中完成。该函数在ReWorks核心启动函数c_main中调用，主要完成系统时钟频率的赋值、关键硬件初始化、cache初始化、printk实现模块注册、中断控制器初始化、PCI（Peripheral Component Interconnect，外设部件互连标准）总线初始化等，流程如图2所示：

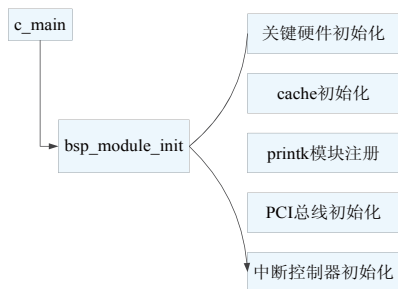


图2 BSP初始化流程

针对P2010硬件特性，主要完成了中断控制器初始化、PCI总线初始化的修改。

(2) 硬件驱动开发

针对P2010处理器的硬件环境，需要开发的驱动如下：

1) 网卡驱动

面对核心网交换机的多样的网络协议栈需求，对网卡驱动和网络协议栈的关系进行梳理，具体如图3所示。网络协议栈一般通过网卡驱动提供的接口完成数据交互和控制管理。网卡驱动向网络协议栈提供的接口均封装在网络接口结构struct ifnet中，网络接口结构的初始化在网卡驱动模块初始化接口中完成。

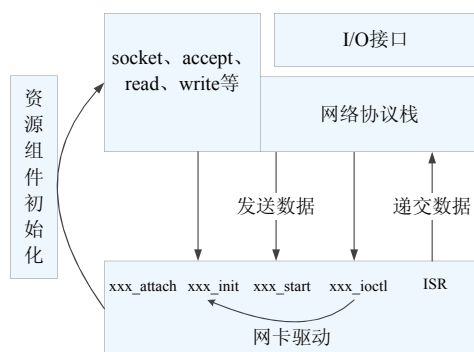


图3 网卡驱动和网络协议栈的关系

由图3可见，一般通过网络协议栈提供的TCP/IP接口执行对网络设备的访问，而不直接访问网络设备。因此，对于网卡驱动而言，仅提供模块初始化接口、网络协议栈接口^[5-6]、中断服务接口^[7]3类外部接口。具体步骤如下：

◆利用ReWorks4.7原有的“网卡驱动模板”搭建驱动框架；

◆实现“网卡驱动模块初始化接口”；

◆依次实现初始化接口、中断服务程序、启动传输接口和控制接口。

2) Flash驱动

Flash文件系统实现了对Flash设备的管理和访问，其架构如图4所示。

Flash文件系统主要由文件系统层、Flash协议层和Flash设备驱动层3部分组成。其中，Flash协议层和Flash设备驱动层是核心部分。

Flash协议层：该层是Flash文件系统的核心。其实现了Flash设备的管理，对Flash设备进行封装，使其

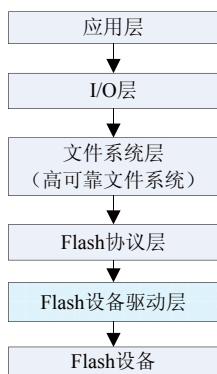


图4 Flash文件系统架构

作为1个普通的块设备使用。Flash协议层实现的Flash设备管理功能包括Flash的读写管理、坏块管理、冗余管理、损耗均衡、垃圾回收等。Flash协议层是以库的形式提供的，驱动开发人员只需要调用相关的接口即可。

Flash设备驱动层：该层主要包括Flash设备的底层驱动以及相关的配置文件，由驱动开发人员完成。主要包括Flash设备的配置、Flash设备的初始化、Flash的读/写/擦除等操作。

针对P2010，首先确定P2010所要实现的文件系统是NAND Flash文件系统。然后在BSP工程下面建立1个flash目录，建立相关文件，通过重载ReWorks操作系统中的flash_config_init()函数实现底层驱动，并将底层驱动接口注册到Flash协议层，完成Flash协议层配置、Flash属性配置、Flash底层驱动接口注册、Flash设备注册等。具体实现如下：

◆初始化Flash设备，包括Flash控制器初始化、相关结构体的分配、数据缓冲的分配等；

◆从Flash设备读取一页数据，根据相关参数的判定来读取Flash设备的一整页数据、单页、spare区；

◆向Flash设备写入一页数据，根据相关参数的判定来读取Flash设备的一整页数据、单页、spare区；

◆擦除Flash设备的一块数据。

3) 显示设备驱动

核心网交换设备使用的是Planar公司的显示屏，其LCD控制器由FPGA（Field-Programmable Gate Array，现场可编程门阵列）实现，支持单色TFT显示^[8]，

FPGA通过UPM接口挂在P2010上。根据对交换设备正常工作的VxWorks的二进制代码进行研究比较，获取了UPM初始化FPGA时的时延参数，初始化顺序，重新写入访问LCD控制器的FrameBuffer，即可完成显示设备驱动的开发。

4) PS/2键盘驱动

由于ReWorks4.7原有的多路I/O选择模块所使用的缓冲区管理方式与PS/2键盘驱动调用的请求缓冲区的方式不匹配，因此参照VxWorks6.8修改键盘驱动中键盘设备管理函数csps2_ioctl即可。这样ReWorks完成了对标准的PS/2键盘的支持。

5) 扩展串口驱动

针对交换设备中P2010处理器的扩展串口，通过对比VxWorks6.8操作系统下应用软件的实现，明确扩展串口接在PCI总线上，寄存器基地址，中断号和片选信号后，即可完成对扩展串口的BSP开发。

3.2 图形支持

核心网交换设备在开发图形界面上使用的是基于VxWorks6.8的图形界面开发组件UGL和ZINC，这2部分组件是以库的形式集成到应用软件中的。为了减少应用适配过程中的工作量，人机界面BSP开发将同样把UGL和ZINC组件集成到ReWorks上。

将UGL和ZINC组件集成到ReWorks上有2种方案，分别是二进制库适配和源码适配。对这2种适配方案进行了专题设计和对比分析，得出结论如下：

一方面，由于UGL和ZINC库所使用的g++编译器同ReDe开发环境使用的g++编译器的版本不同，在应用软件的编译过程中问题较多；另一方面，采用二进制库适配会增加调试的难度，如VxWorks6.8有自己的一套设备打开和查找方式，但是ReWorks4.7版本的VxWorks兼容层并未提供相关接口。因此，最终采用源码适配的方式将UGL和ZINC组件集成到ReWorks上。

(1) UGL适配

在ReDe的资源配置界面中增加显示设备和输入/输出设备的配置；直接修改UGLDepend.h、UGLConfig.h、UGLConfig.c这3个跟配置相关的文件，完成对显示设备驱动、键盘设备驱动的挂接。

UGL源码中并未直接提供汉字显示方案，故需要结合UGL字体驱动结构研究汉字显示的实现方式。ReWorks操作系统原本支持中文点阵字库是宋16×16点阵字库。由于宋16×16点阵字库可以通过字符的机器内码的低位来区分中文字符和英文字符，因此针对宋16×16点阵字库的特点，对位图字体引擎的文本显示函数UGLBMFTextDraw()进行修改，使得该接口能够支持中英文混合显示。

(2) ZINC适配

ZINC构件库的实现跟底层驱动的关联性不大^[9]，该组件主要依赖于UGL组件库和VxWorks兼容层。在ZINC源码适配的过程中遇到的主要问题是中文显示问题。

UGL层提供对宋16×16点阵字体的支持，ZINC层挂接UGL层的代码是ZINC\generic\i_UGLdsp.cpp文件中，通过对该文件的修改实现ZINC层对中文显示的支持。在ZafScreenDisplay类的构造函数中将对应的属性改成宋16×16点阵字体的属性即可。

3.3 VxWorks兼容层改进

ReWorks通过对VxWorks的任务调度、任务通讯、中断、定时器、动态加卸载等系统调用接口及相关宏定义的封装，在应用层上实现了VxWorks源码级兼容。同时参照VxWorks驱动框架，实现了基于tyLib的字符设备、基于DOSFS文件系统的块设备驱动兼容^[10]，减少了应用软件的移植工作量。

但是，原ReWorks操作系统仅完成了对VxWorks5.5的兼容设计，而目前核心网交换设备普遍使用的是VxWorks6.8操作系统，针对交换设备的功能需求，在应用上的主要区别是增加了对二层VLAN的支持。因此，在VxWorks5.5的兼容层上添加VLAN组件，并完成接口适配。

3.4 应用移植

通过VxWorks兼容层的设计，在应用层实现源代码级兼容，在驱动层实现目标代码级兼容，便于现有应用系统的移植和二次开发，并可充分利用原有的应用系统，减少用户系统移植的工作量。结合交换设备的功能需求，应用软件在ReWorks下应配置如下组件：

(1) 网口组件：勾选CP2010 BSP目录下的网卡驱动，然后勾选eTESEC1网口配置；

(2) Flash配置：交换设备支持文件掉电保存，勾选CP2010 BSP目录下的Flash支持；

(3) 内存配置：对比VxWorks6.8下的内存使用情况，在ReWorks操作系统中将SYS_KERNEL_MEM_SIZE配置成合理值；

(4) 其他配置：勾选图形支持，使能提供对UGL、ZINC以及显示设备、键盘设备的支持；

(5) 兼容层配置：为了兼容出现的大部分VxWorks中的函数接口，勾选VxWorks兼容模块下的所有子项。

由于ReWorks4.7和VxWorks6.8编译规则不同，ReWorks4.7使用的新版编译器在语法检查方面更加严格，通过这些语法规则的检查可进一步保证软件的稳定可靠，因此需要针对应用软件源代码进行小范围的移植修改。

4 应用验证

完成核心网交换设备应用软件ReWorks4.7操作系统的移植后，对交换设备的功能、性能进行了测试，满足核心网交换设备功能需求。随后对ReWorks4.7和VxWorks6.8操作系统的人机操作界面、系统响应时间进行了对比测试^[11]，具体情况如表2和表3所示：

表2 图像界面对比情况

控件名称	VxWorks6.8	ReWorks4.7
整体	支持中文显示	支持中文显示
目录	支持快捷菜单和方向键控制	支持快捷菜单和方向键控制
输入框	支持范围控制、支持数字输入	支持范围控制、支持数字输入
选择框	支持上下键和选择键控制	支持上下键和选择键控制
列表	支持上下键控制和单行读取	支持上下键控制和单行读取
显示	8bit TTL和LVDS	8bit TTL和LVDS
键盘	支持PS/2键盘	支持PS/2键盘

由表2可以看出，对照VxWorks6.8下的图形界面，在ReWorks4.7下的各类控件显示效果、对事件的响应均保持和VxWorks6.8一致。

由表3可以看出，多个事件中的系统响应时间的指

表3 系统响应对比情况

性能指标	VxWorks6.8	ReWorks4.7
上下文切换时间/ μs	0.42	0.44
中断响应时间/ μs	2.7	2.7
任务挂起/ μs	0.12	0.17
任务恢复/ μs	0.21	0.14
定时器启动/ μs	0.34	0.41
信号量获取/ μs	0.17	0.16
信号量释放/ μs	0.17	0.15
消息队列发送/ μs	0.41	0.61
消息队列接收/ μs	0.42	0.61
内存分配/ μs	0.33	0.42
内存释放/ μs	0.51	0.64

标差值不超过 $0.2\mu\text{s}$ ，对于使用 1ms 为刻度的核心网交换设备来说，这个细微的差别是可以接受的。

5 结束语

通过对P2010处理器的ReWorks操作系统的研究分析及应用，可以逐渐了解从单核处理器到双核处理器基于ReWorks操作系统的BSP开发、驱动开发以及应用移植和开发的技术框架及处理流程，将对后续其他应用软件的移植提供较好的借鉴性。

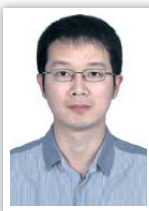
此外，经过多年的研究，国产化的嵌入式操作系统也日益成熟。通过测试分析，验证了国产化操作系统的实时性和稳定性，能满足现阶段核心网交换设备以及其他方向的军事应用需求，可广泛地应用于核心网、接入网的各类交换设备和传输设备中。同样应紧跟硬件技术的发展，尽快实现更加完善的高端硬件的嵌入式系统。

嵌入式操作系统的国产化只是信息安全的一小部分，只有操作系统和核心芯片真正结合起来全部国产化，并广泛应用于我军型号产品，才能为我国的信息安全及国防事业做出巨大贡献。

参考文献：

- [1] 谢彬. ReWorks/ReDe嵌入式实时操作系统及开发环境产品白皮书[R]. 中国电子科技集团公司第三十二研究所, 2013.
- [2] Freescale Semiconductor, Inc. P2010 QorIQ Integrated Processor Hardware Specifications[R]. 2013.
- [3] Wind River. VxWorks BSP Developer's Guide 6.8[R]. 2010.
- [4] Wind River. VxWorks Device Driver Developer's Guide[R]. 2010.
- [5] Wind River. Wind River Network Stack Programmer's Guide[R]. 2010.
- [6] Wind River. Wind River SNMP Programmer's Guide[R]. 2009.
- [7] 赵立业. 基于PowerPC的ReWorks系统移植及网络模块的设计与实现[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
- [8] Planar Systems, Inc. EL320.256-F6 and FD6[R]. 1998.
- [9] Zinc Software Incorporated. Zinc Programmer's Reference[R]. 1998.
- [10] 董巍, 马云. 基于ReWorks操作系统的实时多任务程序设计[J]. 中国新技术新产品, 2013(9): 53.
- [11] Wind River. VxWorks BSP Validation Test Suite User's Guide[R]. 2010. ★

作者简介



雷鹏：学士毕业于湖南大学计算机与通信工程学院，现任中国电子科技集团公司第七研究所项目总师，主要研究方向为军用交换设备软件框架设计和国产化操作系统在军工领域的应用。



生盛义：学士毕业于哈尔滨工业大学，现任中国人民解放军第二炮兵驻广州军事代表室军代表，主要研究方向为军用通信领域。

基于小波分析的主动预警式网络信息安全运维

林征, 李洋

(中国移动通信集团贵州有限公司贵阳分公司, 贵州 贵阳 550001)

【摘要】 提出了一种基于小波分析的安全运维分析方法, 在海量数据挖掘的基础上, 利用小波分析理论对数据进行分析, 提出针对海量数据的波形化、波形的降噪方法以及小波函数二进制离散算法等问题的解决方案, 实现对未来的安全趋势进行主动预警, 从而提高网络与信息安全工作效率。

【关键词】 小波分析 主动预警 信息安全 安全运维

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.011 中图分类号: TP319 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0054-04
引用格式: 林征, 李洋. 基于小波分析的主动预警式网络信息安全运维[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 54-57.

Active Warning Network Information Security Operation Based on Wavelet Analysis

LIN Zheng, LI Yang

(China Mobile Group Guizhou Co., Ltd., Guiyang Branch, Guiyang 550001, China)

[Abstract] A security operation and maintenance evaluation method based on wavelet analysis was presented in this paper. Based on huge amounts of data mining, data was analyzed by means of wavelet analysis theory. A noise reduction method according to wave form of huge amounts of data was presented. Also, a solution to binary discrete algorithm of wavelet function was put forward to achieve active warning to future security trend and enhance efficiency of network and information security.

[Key words] wavelet analysis active warning information security security operation

1 传统网络与信息安全工作开展模式分析

近年来, 网络运营商在信息安全体系基本建设完成后, 仍旧在网络与信息安全运维管理过程中面对不断出现的新问题和信息安全管理短板。日常网络与信息安全工作繁杂(包括日常漏洞整改加固、未备案网站核查、垃圾短信治理、日志分析、设备巡检等多项常态化工作), 且人员配置及技术储备相对薄弱, 导

致大部分网络与信息安全工作只得被动展开, 缺乏预警机制, 从而无法及时对安全运维过程中暴露的安全问题进行分析 and 评价。

传统网络与信息安全工作开展的技术性问题主要包括如下:

(1) 网络安全工具或者监控系统使用复杂, 工作难度大。

(2) 对于网元设备、服务器设备、网络安全设备产生的日志没有技术手段进行有效分析, 难以有效利用海量数据资源。

(3) 安全预警和处理多靠人员经验, 无成熟的理

收稿日期: 2015-04-28

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

论和工具。

(4) 安全维护工作成果无法用数字或图表的形式直观展现, 很难得到认可。

传统网络与信息安全工作开展的管理性问题主要包括如下:

(1) 制度或流程未能有效地贯彻和落实。

(2) 管理措施被抛弃或故意绕过。

(3) 安全管理制度与其他制度存在冲突。

(4) 内部人员对落实体系的积极性不高, 缺乏主观能动性。

(5) 缺少长远规划, 没有突出重点问题。

对于日常运维管理工作中的技术性问题, 需要一种适用的网络安全工具: 这种工具有足够先进和精确的理论支持; 可对现有运维数据进行深度挖掘; 可以及时地对将要发生的安全事件进行预警; 可以为安全运维工作提供短期和长期的方向性指引; 可以表达安全运维工作的成效, 为决策管理层提供数据支持。

2 小波理论原理

小波分析理论最早是由法国数学家Molet在1980年进行地震数据分析工作的过程中提出, 随后S.Mallat在1989年提出多分辨率分析的概念, 统一了其他人提出的各种具体小波构造方法, 给出了Mallat算法。小波变换作为替换短时傅里叶变换的一种方法被提出来。小波分析与短时傅里叶分析采用相同的处理方法, 也是用窗口的形式将一个函数与信号相乘(小波变换中这个用来相乘的函数就是小波函数), 变换结果被分成在时域内不同的片段。尽管如此, 连续小波变换与短时傅里叶变换还是有2个主要的不同点:

(1) 由于傅里叶变换没有采用加窗的方式, 会在变换结果中看到相应正弦信号的尖峰, 因此结果中没有负频率。

(2) 为计算每个单一的频谱分量, 需要将窗口宽度改变, 这可能是小波变换最重要的特征。

连续小波变换定义为:

$$CWT_x^{\psi}(\tau, s) = \psi_x^{\psi}(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi \times \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt \quad (1)$$

小波变换其实是一个含有2个自变量的函数(t 和 s), 分别作为平移和缩放参数。 $\psi(t)$ 是变换函数, 称之为母小波。满足这个条件的窗函数应该是有限宽度的, 且函数是振荡的。“母”这个字眼揭示了变换中用到的含有不同支撑域的函数, 都可以追溯到一个主要函数——母小波。换句话说, 母小波就是产生其他窗函数的原型。

“变换”这个词和在快速傅里叶变换中的变换是一样应用的。随着窗口在信号上平移, 和窗口的位置相关。这个说法在变换域内明显反映了时间信息。不过, 不像之前说的短时傅里叶变换, 没有频率参数, 而以frequency的缩放参数将其取代。

小波分析克服了工程界一直应用的傅里叶变换不能同时具有时域和频域的细节特征, 通过小波基的伸缩和平移, 根据信号的变换特征自适应地调整分析方式, 更准确地捕捉到众多离散数据中的突变信号。

3 基于小波理论的主动预警式网络信息安全运维内容

在网络信息安全运维工作中会接触大量的数据, 包括实时网络流量日志、防火墙产生的连接数日志、操作系统和网元的告警日志、网络入侵检测系统产生的入侵告警、审计系统产生的操作审计日志信息、日常检查出的漏洞分布情况、检查操作系统配置合规情况等, 随着网络安全和信息技术的发展, 将会接触到更多的系统, 且面对更海量的数据。因此, 有必要对这些数据进行深度挖掘分析, 从而找出隐藏信息和规律, 甚至可以提前对网络安全情况进行预警, 对未来的网络安全走势进行预测, 从而指引日常信息安全运维工作的方向。

以上的海量日志数据都有一个共同的特征——时序。需关心这些日志数据的时间维度, 比如: 异常流量发生的时间、安全漏洞发生的时间、系统入侵的时间、系统告警的时间等。

传统的分析挖掘方法一般是基于统计学, 将时间序列数据作为变量来处理。但是如果换一个角度, 可以把海量日志数据从时间和发生频率这2个维度考虑, 将所有日志数据看做是波形, 即可以采用小波分析原

理对日志数据进行处理,从小波分析的结果来提升日常安全运维。

若要将小波理论在主动预警式的网络分析系统中进行实现,还需要克服以下3个问题:

(1) 对现有在运维过程中得到的海量日志数据进行数模转换,对数据进行波形化。

(2) 对得到的波形进行去噪。

(3) 对小波变换函数进行二进制离散化。

在克服这些困难之后,可以依照图1所示的顺序进行数据的输入/输出:



图1 小波理论主动预警系统演进图

(1) 通过对安全事件进行分析,确定与安全事件密切相关的属性(如漏洞信息、流量信息、攻击信息、时间信息、发生频率、危害程度等)。

(2) 设计数据采集模块,对安全防护设备、网络设备、主机系统进行数据采集。

(3) 对采集到的数据进行量化,得到一系列的数值型数据。同时,把离散的数值数据转换成波形,即把数字信号转换成模拟信号,以进行小波分析。

(4) 数据采集过程中由于外界因素的影响或检测误差的存在,采集到的数据通常都包含噪声,用小波变换做降噪处理,使信号能最大限度地反映原信号本身的规律与性质。

(5) 对处理过的信号波形运用小波分析,检测出频率突变点的位置。

(6) 综合各个属性的检测分析结果,对影响公司日常安全运维的风险因素进行预警,评价公司网络与信息安全工作开展整体情况及整体安全水平,为安全策略的制定提供依据。

3.1 日志数据的波形化

日常运维过程中产生的日志数据往往都会对应某时刻或者某段时间内的情况。如果将一种情况的值,比如网络流量大小或者检查出的漏洞数目、检测到的

网络攻击数目等按照一定方法量化后作为波形的幅度 s_i ,和其所对应的时间值 t_i ,则会形成一组离散化的波形,带入到公式为 $x(t)=\{t_i, s_i\}$,那么所有类型的情况的值都可以是这样一组波形,从而实现了日志数据的波形化。

3.2 波形的去噪

在得到日志数据波形化后难免会出现噪声,为了更加准确地分析波形,需要进行去噪。从实践结果来看,噪声和有用信息的细节部分一般都会在波形的高频区域,传统的傅里叶变换无法去除噪声和有用信息重叠区域特别大的情况。因此,可采用小波分析的方法来去除噪声,这样更能保持去噪过程中波形细节不受损失。

有用信号的小波系数往往幅度大、数目少,而噪声信号的小波系数则幅度小、数目多,因此可先设定一个阈值,在阈值内的为有用信息,在阈值之外的认定为噪声。

在小波函数满足容许条件的情况下,可以用傅里叶变换经过阈值处理后的小波分解结果来重建原始波形,便于在降噪之后对优化后的波形进行进一步分析。

小波容许条件为:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (2)$$

其中, $\Psi(\omega)$ 为小波函数的傅里叶变换。

通过这样的小波变换,可以对原有的波形进行有效降噪,过滤掉无用的日志数据信息,从而为后续的精准确预警提供了基础。

3.3 二进制离散化

为了实现对日志数据的周期性分析和安全预警,需要对函数进行二进制离散,这样可以通过计算机程序来利用小波变换函数对被数模化的大数据进行多级分解,从而实现对网络攻击的提前预警并提供预见性指引。

如果:

$$(s, \tau) = \left(\frac{1}{2^j}, \frac{k}{2^j} \right), \psi_{j,k} = \psi_{a,b}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \quad (3)$$

那么, $x(t)$ 可以表示的小波序列为:

$$x(t) = \sum_{j,k=-\infty}^{+\infty} c_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (4)$$

其中:

$$c_{j,k} = 2^{\frac{j}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi \times (2^j t - k) dt \quad (5)$$

在日志数据二进制离散后, 实现对日志数据大规模多级分解, 并且进行周期性规律分析, 从中发现异常信息, 提前预警, 从而为日常安全运维工作提供主动式的思考, 让日常安全运维工作更加有序开展, 提升日常安全运维水平。

4 实践效果

该理论在笔者单位安全运维方面得到了应用, 效果显著。2013年该理论实践后变换得到的日常安全运维趋势如图2所示:

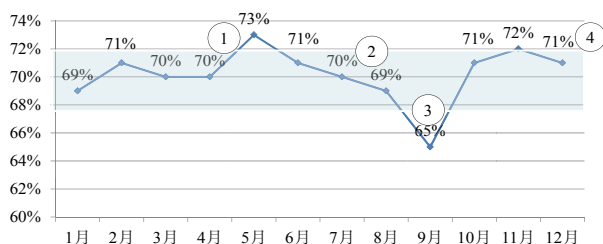


图2 小波理论主动预警系统日常安全运维趋势图

(1) 点1: 73%异常, 超出了笔者认为的68%和72%的控制区间。

(2) 点2: 69%, 这个指标是在笔者的受控区间中, 但仍然是异常。

(3) 点3: 65%, 低于阈值, 异常。

(4) 点4: 71%, 这个也是异常, 是连续3个点(71%、72%、71%)落在控制中线(70%)的一侧, 显示可能出现了单边安全形势。

在2013年内, 通过该系统笔者单位运维安全预警明显得以提升, 及时发现网络异常事件11起, 整治网络安全漏洞43个, 同比2012年笔者公司投入运维安全人员由2 104人/时降至733人/时, 可有效控制网络风

险, 大幅提升工作效率。

5 结束语

通过小波变换分析手段, 可以将在工作中收集的海量网络和信息安全有关数据进行深度挖掘分析, 并且建立基于小波理论的主动预警式网络分析理论和系统, 将数据收集、数据数模转换、数据降噪、数据分析等过程全自动化、图形化表现出来, 对网络安全各事件的发生进行规律解读, 提前预警可能发生的风险事件, 使日常信息安全运维工作有理可依、有据可循, 为从以事件为导向的被动型安全企业转变为以风险为导向的成熟型安全企业提供有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] ROBI POLIKAR. THE ENGINEER'S ULTIMATE GUIDE TO WAVELET ANALYSIS: The Wavelet Tutorial[EB/OL]. (2012-02-16). <http://yanlijun250.iteye.com/blog/1418011>.
- [2] Lokenath Debnath. Wavelet Transforms and Their Applications to Turbulence[EB/OL]. (2011-05-25). http://wenku.baidu.com/link?url=ZC1JSaTZsrc1P9yl6BEDC-rh_3VkQOVRJeW3Jn2BzVYyzQhiuPd0V0WtbrKqQJi35MEIRQhJmnYqiGVLO_L3eQmaTjIVinygV9SOMVPrCye.
- [3] Daubechies I. The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1990,36(5): 961-1005.
- [4] Mallat S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition[EB/OL]. (2010-11-26). http://wenku.baidu.com/link?url=gxrUf621vw9floHyze5Gk53z16W66vNO7IcCPIATzZhtQpnhORiQ6-SnyidmWb18Szvdpv_Ckn66OK7yHhsogBcETAq9wtgIEzfQcTTMKaq.
- [5] 李世雄. 小波变换及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.

(下转第62页)

大数据分析场景下分布式数据库技术的应用

齐磊

(中国移动通信集团设计院有限公司网络所, 北京 100080)

【摘要】 为了解决运营商日益增长的数据管理和应用需求, 分布式数据库应运而生。通过介绍分布式数据库混合存储、透明压缩等关键技术, 并结合运营商系统建设, 探讨了分布式数据库技术在大数据分析场景下的具体应用。目前基于分布式数据库的架构已在运营商多个大数据分析系统中得到大量应用, 并取得良好的效果。

【关键词】 大数据 分布式数据库 大规模并行处理 无共享 列存储

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.012 中图分类号: TP392 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0058-05
引用格式: 齐磊. 大数据分析场景下分布式数据库技术的应用[J]. 移动通信, 2015,39(12): 58-62.

Application of Distributed Database in the Scene of Big Data Analysis

QI Lei

(China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China)

[Abstract] In order to solve operators' increasing demands on data management and application, distributed database appeared with the computer network and database systems. Some key techniques such as mixed storage and transparent compression were introduced. According to operators' system construction, specific applications of distributed database in the scene of big data analysis were discussed. At present, distributed database architecture has been widely applied in operators' multiple big data analysis systems with satisfactory effect.

[Key words] big data distributed database massive parallel processing (MPP) share nothing column storage

1 引言

随着移动互联网的迅猛发展, 运营商网络中的数据呈现爆炸性增长, 带来海量数据存储、分析及管理的需求。大数据分析场景以非结构化数据为主, 运营商由小型机构构建的传统数据库系统在架构、成本、分析能力等方面均出现瓶颈或不满足发展需求, 运营商系统对分布式数据库需求大量增加。因此, 秉承“高效低成本”的指导原则, 并实现大数据的交换、整合和分析, 本文基于运营商大数据分析系统, 探讨了以分布式数据库为特征的架构方案具体落地。

2 建设驱动力

在大数据时代, 面对海量数据的井喷式增长, 传统集中式数据库的弊端日益显现, 采用分布式数据库的驱动主要来源于以下方面:

(1) 更强的扩展能力: 传统小型机构成的数据库系统受限于其架构, 最多几百TB级别的数据容量, 其扩展性能已接近瓶颈。而分布式数据库架构能够动态地增添存储节点, 在支持PB级别的数据环境方面更具优势。

(2) 较大的成本优势: 大数据下, 传统小型机及数据库扩容成本急剧提升, 而分布式数据库在成本方面具备较大的优势。以运营商存储总量为500TB的大数据分析系统为例, 在考虑服务器、数据库软件及网

收稿日期: 2015-03-22

责任编辑: 袁婷 yuanting@mbcom.cn

络设备的整体架构方案设计下,传统数据库架构造价成本为11.2万元/TB,而分布式数据库架构造价成本仅为2.2万元/TB,单位造价降低80%。

(3) 更优的使用效果:在大数据分析场景下,分布式架构的列存储、透明压缩、并行处理等技术很容易实现海量存储和管理要求,可以及时响应大规模用户的读/写请求,在查询、统计和分析类操作较传统数据库具备天然的优势。

3 实现分布式数据库的关键技术

3.1 MPP+Shared Nothing架构

分布式数据库一般基于MPP(Massive Parallel Processing,大规模并行处理)技术实现,由多个松耦合的处理单元构成,每个处理单元都有自己的计算资源、存储资源和软件资源,如总线、内存、硬盘、操作系统和数据库实例等。每个处理单元都是独立的、自给的、对等的,整个系统中不存在单点瓶颈。

分布式数据库提供动态扩展的方式,由多个处理单元协同完成相同的任务,多个处理单元之间的信息交互是通过节点互连网络实现的。每个节点只访问自己的本地资源,不存在异地内存访问的问题,是一种完全无共享(Shared Nothing)结构。该架构下,数据平均分布到系统的所有节点上,每个节点存储每张表或表分区的一部分行,所有数据加载和查询均可自动在各个节点服务器上并行运行。

3.2 混合存储(按行或按列)

区别于传统行存数据库,分布式数据库的数据在磁盘上支持混合方式(按行或按列)进行组织和物理存储。由于列存储架构对查询、统计和分析类操作具备天然的优势,因此在运营商经营分析系统等大数据分析场景中能获得很好的应用。混合存储的优势体现在以下方面:

(1) 更高灵活性:混合按列或按行存储数据,每张表或表分区可以由管理员根据应用需要或者数据格式的不同,指定不同的存储和压缩方式。该方式可较大地提高配置的灵活性,具体如图1所示。

(2) 提高响应速度:查询语句时,传统行存数据库需要从磁盘上将整行数据取出,而列存储只读取所



图1 混合存储示意图

需要的列,其他列的数据不需要读取。该方式可大幅降低I/O开销,提高查询性能和响应速度。

(3) 高扩展性:分布式数据库的独特存储格式对列数据可再细分为“数据包”。无论一个表有多大,数据库只操作相关的数据包,性能不会随着数据量的增加而下降,这样表数据可以达到很高的可扩展性。

3.3 高效透明压缩技术

高效透明压缩技术能够按照数据类型和数据分布规律自动选择最优压缩算法,并设置了库级、表级、列级等压缩选项,灵活平衡性能与压缩比的关系,而且压缩与解压缩过程对用户是透明的。

由于分布式数据库支持列存储,列数据包内都是内容相关性高的同构数据,因此更易于实现压缩,压缩比可以达到5~20倍以上,数据占用空间较传统数据库可节省50%~90%。此外,压缩态下对I/O要求大大降低,数据加载和查询性能比传统数据库快几十倍以上。

3.4 智能索引

与传统数据库建立在行数据上的细粒度索引技术相比,分布式数据库的智能索引是一种建立在数据包上的粗粒度索引。每个数据包在加载数据时自动建立,包含过滤信息和统计信息。粗粒度的智能索引包含了描述数据间相互依赖关系的高级信息,能够准确识别数据包的需要,可有效解决复杂的多表连接和子查询。表中的所有列自动建立,不需用户手工建立和维护。

智能索引本身占空间很少,扩展性很好,建立索引后无膨胀。后续的数据包建立索引的速度不会受到前面数据包的影响,建立索引的速度相当快。并且在数据查询时不需要解包就能得到统计值,可进一步降低I/O速度,对复杂查询的优化效果明显。

3.5 并行处理技术

分布式数据库针对数据加载和数据查询实现了自

动高效的并行处理技术，充分利用智能算法适配实现多核CPU资源并行，实现数据库分区内的查询并行。针对不同的数据分布及特征智能选择不同算法进行处理，如低效的写操作、并发运行且消耗大量资源的查询操作，控制在各自适合条件下运行。

分布式并行技术具有系统资源管控能力，通过可配置的负载均衡机制，有效调度和平衡各个节点的负载及并行处理过程。用户所面对的都是同一个数据库系统，它负责调度各节点的工作，分解查询请求，制订节点查询计划，并对不同节点的查询结果进行汇总。并行处理技术可以将一个用户的单个查询任务分解在同一台主机的多个CPU上并行运算，也可以将一个用户的多个查询任务分解在同一台主机的多个CPU上并行运算，还可以将多个用户的多个查询任务分解在多台主机的多个CPU上并行运算。

4 分布式数据库架构方案设计

4.1 技术要求

移动互联网的迅猛发展使得运营商网络中数据流量激增，运营商如何把握市场转型所带来的机遇，做好数据经营的价值挖掘，以低成本、高效率的运营模式面临挑战，将会是一个重要的课题。

本文以某省运营商大数据分析系统为例，为实现深度挖掘支撑精准营销和精细化服务，并实现对大量并发自助服务查询的支撑要求，将该系统中的分布式数据库分为融合计算集群和自助查询集群。其中，融合计算集群有效数据量为300TB，并要求具备高效并行计算能力；自助查询集群有效数据量为150TB，并要求具备复杂关联查询的支持能力。

4.2 网络架构

分布式数据库需要通过网络传输大量的数据，为提升网络带宽并最终改善数据库性能，一般建议采用万兆交换网络。本文将系统分为集群一（融合计算集群）和集群二（自助查询集

群），两集群共用核心万兆交换机。每集群配置相应数量的节点，每个节点配置2个万兆网卡和2个千兆网卡绑定后分别连接2台交换机，从网卡、交换机、节点等环节均实现高可用性。其中，千兆电口网卡用于外部对节点的管理登录连接及监控信息通讯；万兆光口网卡用于集群内部节点管理和节点间数据通讯。具体如图2所示。

每台交换机划分2个VLAN（Virtual Local Area Networks，虚拟局域网）。VLAN1支撑融合计算集群，VLAN2支撑自助查询集群，并各自预留一定的扩容余量。

4.3 硬件架构

分布式数据库的性能很大程度上取决于CPU、内存、I/O设备、磁盘数量等硬件配置是否均衡。资源配置均衡合理，避免瓶颈的出现，才能获得更优的性能。例如，CPU和内存的比例一般要求在1:8或以上；应确保每个数据库分区使用独立的磁盘，以匹配分布式数据库的无共享架构。

仍以前文架构为例，系统集群一和集群二分别部署54、36个节点，每个节点包含1台X86服务器及8块1TB内置磁盘。每个集群内的节点均为对等节点，共同提供计算或查询服务。集群之间不存在依赖关系。

分布式数据库可采取将一个大的集群拆分成多个高可用组的方式，实现高可用性。例如，融合计算集群共54个节点，可拆分成18个高可用组，每组内3个节点轮转方式备份，每个节点的2个文件系统分别在另外

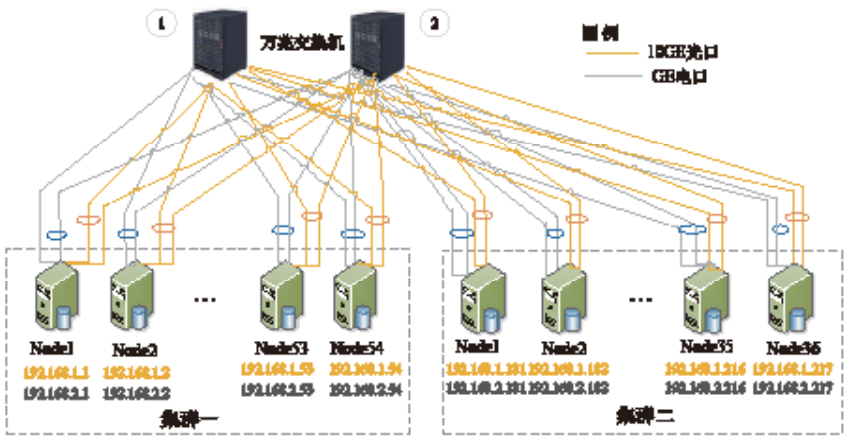


图2 分布式架构网络部署图

2个节点上各有1份数据拷贝，确保任何节点宕机后数据库仍然可以正常使用。

分布式数据库配置硬盘及支持的数据空间换算过程如表1所示：

表1 分布式数据库配置硬盘及数据空间计算模型

计算模型	计算过程及结果	备注
实际配置存储容量	$54 \times 8 = 432\text{TB}$	54节点，单节点8TB
可用存储容量	$432 \times (7/8) \times 91\% \approx 344\text{TB}$	7/8为Raid5比例，91%为磁盘损耗比
系统支持非压缩数据量	$344 \times (1-15\%)/3 \times (1-6\%-2\%) \approx 90\text{TB}$	15%为临时表空间占比，6%为数据库日志占比，2%为其他膨胀因子预留，3为跨节点数据镜像副本数
系统支持压缩数据量	$90 \times 5 = 450\text{TB}$	考虑5倍压缩比

由此可见，配置硬盘及支持的压缩数据空间大约在1:1之间。但考虑本文仅保守取定5倍的压缩比例，且目前单节点配置硬盘已经广泛达到24TB（12块2TB），分布式数据库可支持的数据空间还有较大的提升潜力。

4.4 应用效果

以前文提到的融合计算集群和自助查询集群为例，最终通过MPP架构数据库集群实现了较高的并行计算能力、高并发访问支持能力以及高效即席查询能力来支持数据分析平台的业务需求。主要应用效果如下：

（1）混合应用的负载支撑

分布式数据库可支持各种类型的应用，如数据装载、数据加工、数据计算、数据更新和删除、数据插入导出、用户并发查询等操作。分布式数据库通过良好的索引技术和并发机制能够很好地支持混合负载场景，满足业务需要。

（2）大量业务的负载管理

分布式数据库可承载大规模的数据容量及大量的业务，有大量的业务用户使用。通过高效的工作负载管理能力实现各类作业有条不紊地运行，提高系统的整体吞吐量。工作负载管理可提供用户优先级管理（高优先级用户可以使用更多系统资源）、数据优先级管理（热点数据优先，查询热点数据获取更多系统

资源）、作业并发度控制（按作业执行成本分类，控制每类作业的并发度）、作业类型管理（如数据装载、查询、调用）等。

（3）满足高并发查询需求

在数据分析平台自助服务查询业务中，需面向基数庞大的客户群体提供即席查询服务，并发访问峰值极大，因此要求自助服务查询数据库具有支持大并发的能力。

根据实际应用情况，分布式数据库可同时支持不少于200个并发查询任务。分布式数据库对于1亿条记录规模以内的数据查询，处理性能可控在2小时以内。对记录为2亿条数据的表同时进行数据加载和查询，查询时间可控在40分钟以内。

（4）满足高数据加载能力需求

根据实际应用情况，日汇总数据28亿条，单节点加载效率可达到1.5万条/秒；月汇总数据320亿条，单节点加载效率可达到5.5万条/秒。对于2亿条数据的表做单表汇总操作时间不超过90分钟。

针对多表关联的情况，日汇总表两表关联时，数据量为2亿 \times 0.5亿情况下，关联汇总的时间可控在40分钟以内；在三表关联时，数据量为2亿 \times 0.6亿 \times 0.5亿情况下，关联汇总的时间可控在50分钟以内。

（5）满足高扩展能力需求

随着数据量的增加，应用功能不断丰富，分布式数据库系统势必需要进行扩容，增加处理能力和存储容量。分布式数据库通常采用增加新的处理节点的方式，实现处理能力和存储容量同时扩容。从系统扩展角度来说，分布式数据库集群最大节点支持数在1 000以上；从运维角度来说，300TB存储的分布式数据库集群在增加节点后能够在8小时内完成数据的重新分布。

数据库支持定制哈希位图，可尽量减少重分布的数据量以及减轻重分布期间对业务应用的影响，数据库支持数据重分布期间对外提供服务，为客户提供更多的选择。

（6）实现系统稳定性和高可用性需求

分布式数据库的高可用性包括应对多种故障，在网络连接异常、磁盘故障、节点级故障等情况下，应用均不需要重新连接，可以继续执行直至完成。同

时,系统一般通过多副本等冗余机制来保证数据的高可用特性和安全。分布式数据库在CPU利用率达到70%以上和200个线程同时计算的状态下能够稳定运行,能保障7×24小时持续运行,年故障数可控在5次以内。

5 结束语

本文分析了大数据分析场景下分布式数据技术的建设驱动力及关键技术,并对分布式架构建设方案进行了详细的阐述。基于上述技术的分布式数据库系统已经在运营商VGOP、经分等多个大数据分析平台中得到应用。分布式数据库可提高运营商系统的通用性、可扩展性、灵活性,并在一定程度上降低了开发成本。后续将对分布式数据库进行进一步研究,以便其更好地服务于大数据的发展。

参考文献:

- [1] 陈如明. 大数据时代的挑战、价值与应对策略[J]. 移动通信, 2012(17): 14-16.
- [2] 刘昭,张海峰,李玮,等. 运营商发展大数据技术及建设模式展望[J]. 电信工程技术与标准化, 2015(3): 12-16.
- [3] 赵东晖,李立奇,彭庆. 运营商大数据引入方案分析[J]. 移动通信, 2013(21): 69-74.

- [4] 陈吉荣,乐嘉锦. 基于Hadoop生态系统的大数据解决方案综述[J]. 计算机工程与科学, 2013,35(10): 25-32.
- [5] 全波,姚素丹. 移动互联网时代电信运营商流量经营探索[J]. 电信科学, 2012,28(7): 18-21.
- [6] 翟岩龙,罗壮,杨凯,等. 基于Hadoop的高性能海量数据处理平台研究[J]. 计算机科学, 2013,40(3): 100-103.
- [7] 康尚钦,李军,叶何亮,等. 基于分布式计算的电信联机采集系统设计[J]. 计算机与现代化, 2013(1): 91-94.
- [8] 陈娜,张金娟,刘智琼,等. 基于Hadoop平台的电信大数据入库及查询性能优化研究[J]. 移动通信, 2014(7): 58-63.
- [9] 彭庆. 基于大数据技术的流量分析平台方案研究[J]. 邮电设计技术, 2014(8): 22-25.
- [10] 郭健. 精细化流量经营业务支撑系统的研究与设计[J]. 电信工程技术与标准化, 2013(4): 1-5. ★

作者简介



齐磊: 工程师, 学士毕业于北京邮电大学, 现任职于中国移动通信集团设计院有限公司网络所, 长期从事IT支撑系统设计咨询工作。

(上接第57页)

- [6] 何岭松. 小波函数性质及其对小波分析结果的影响[J]. 振动工程学报, 2000(1): 143-146.
- [7] 刘素一,权先璋,张勇传. 不同小波函数对径流分析结果的影响[J]. 水电能源科学, 2003(1): 29-31.
- [8] 段瑞玲,李玉和,李庆祥. 小波函数的选择及其对图像滤波性能影响[J]. 计算机应用, 2005(12): 219-220.
- [9] 张平文,刘法启. 小波函数值的计算[J]. 计算数学, 1995(2): 173-185.
- [10] 张新红. 小波网络理论及其在经济预测中的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2003. ★

作者简介



林征: 工程师, 硕士毕业于贵州大学, 现任中国移动通信集团贵州有限公司贵阳分公司网络部数据网络管理员, 长期从事移动互联网维护管理及无线网维护优化工作。



李洋: 高级工程师, 工程硕士毕业于重庆大学, 现任职于中国移动通信集团贵州有限公司贵阳分公司网络部, 长期从事移动网络的维护管理工作。

LTE-A载波聚合终端一致性测试 TTCN-3代码接口设计

金毅敦¹, 王晰¹, 陈晓忠^{1,2}

(1. TD产业联盟, 北京 100191;
2. 电信科学技术研究院, 北京 100191)

【摘要】 载波聚合作为LTE-A的一项关键技术, 实现了灵活的传输带宽扩展、有效地利用了频谱资源。对载波聚合的一致性测试是LTE-A重点关注的测试内容。主要介绍了LTE-A终端一致性测试中载波聚合的测试模型和TTCN-3代码ASP接口的设计。

【关键词】 LTE-A 载波聚合 终端一致性测试 TTCN-3

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.013 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0063-05
引用格式: 金毅敦, 王晰, 陈晓忠. LTE-A载波聚合终端一致性测试TTCN-3代码接口设计[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 63-67.

TTCN-3 Code Interface Design of Uniformity Test for LTE-A Carrier Aggregation User Equipment

JIN Yi-dun¹, WANG Xi¹, CHEN Xiao-zhong^{1,2}

(1. Telecommunication Development Industry Alliance, Beijing 100191, China;
2. China Academy of Telecommunication Technology, Beijing 100191, China)

[Abstract] As a key technique of LTE-A, carrier aggregation is able flexibly implement transmission bandwidth expansion and effectively utilize spectral resource. Uniformity test of carrier aggregation is the key test content of LTE-A. The tested model of carrier aggregation in uniformity test of LTE-A user equipment and its ASP interface of TTCN-3 code were mainly described.

[Key words] LTE-A carrier aggregation UE uniformity test TTCN-3

1 引言

载波聚合(CA, Carrier Aggregation)是LTE-A提出的关键技术之一, 用以满足LTE-A下行峰速1Gbps、上行峰速500Mbps的要求, 提供最大100MHz

的传输带宽, 实现了灵活的传输带宽扩展、有效地利用了频谱资源。所以, 对载波聚合的一致性测试是LTE-A重点关注的测试内容。LTE/LTE Advanced协议一致性测试TTCN-3标准测试集代码由ETSI和TDIA合作开发, 被发布在3GPP 36.523-3协议中。

在LTE R8/R9的基础上, TD-LTE/TD-LTE-Advanced协议一致性测试集针对载波聚合特性, 设计用于RRC层和MAC层测试的测试模型和新的ASP接口

收稿日期: 2015-05-25

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

定义。测试集支持单频段连续、单频段非连续和多频段非连续3类聚合方式的测试条件要求。CA的引入，只对MAC层和RRC层的功能和过程有进一步扩展，以支持多载波管理与操作。由于多载波的可见性被限制在MAC层，所以RLC、PDCP、RRC层对于所有成员载波CC（Component Carrier）都是公共的。TD-LTE/TD-LTE-Advanced TTCN测试集增加了SCell/PCell的概念及其参数配置、MAC层激活/去激活（Activation/Deactivation）SCell的MAC控制单元定义及功能、RRC层对SCell添加/删除的RRC重配置等一系列相关内容。根据CA-RRC和CA-MAC测试模型，对CA在3类聚合方式下，测试终端在RRC层对SCell的添加、修改、删除、测量等功能和MAC层对SCell的HARQ、功率余量上报PHR、缓存状态报告BSR、SCell激活数据传输等功能进行研究。

2 LTE-A终端一致性载波聚合的测试模型

载波聚合CA-MAC和CA-RRC测试模型与一般的LTE MAC和RRC测试模型的设计思想一致，使用运行于HostPC上的TTCN-3代码，控制系统模拟器SS的行为，来对终端协议栈进行测试。

2.1 CA-MAC层测试模型

CA-MAC测试模型如图1所示：

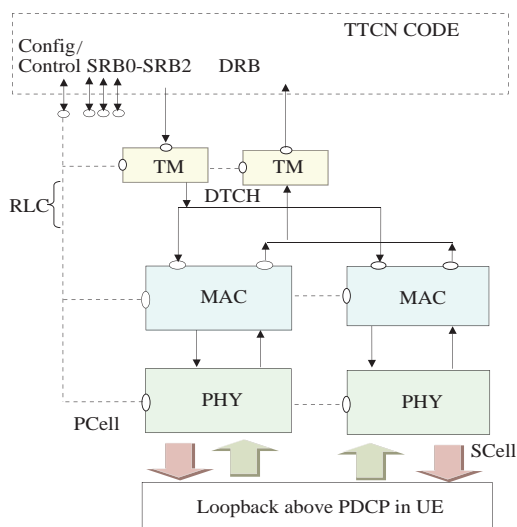


图1 CA-MAC测试模型

CA-MAC层的测试模型中，系统模拟器SS区分PCell/SCell小区，SS可配置PCell only或PCell/SCell两种测试情况，每种测试情况又分为DL/UL透传模式和DL only透传模式。其中对于透传模式的处理方法基本与LTE MAC测试模型的处理类似。PCell/SCell情况下SRB的BCCH/PCCH的配置与CA-RRC测试模型的处理相同。由TTCN代码通过系统控制端口进行上行调度授权和下行调度分配，SS通过系统指示接口上报PCell的PUCCH调度信息接收和PCell/SCell的RACH preambles接收。在激活的SCell上配置的RACH过程由SCell控制，PDCCH order在控制SCell的PDCCH上发送。由SCell接收PRACH preamble，由PCell发送其相关的激活SCell的RAR。

2.2 CA-RRC层测试模型

CA-RRC测试模型如图2所示。

CA-RRC层测试模型中，系统模拟器SS区分PCell/SCell小区，L1（PCell/SCell）、MAC（PCell/SCell）、RLC（PCell）和PDCP（PCell）均为正常配置。其中PCell的RLC层具有BCCH/PCCH/CCCH对应的UM模式、DCCH对应的AM模式和DTCH对应的AM/UM模式，而SCell仅仅具有BCCH/PCCH/CCCH对应的UM模式。TTCN代码通过系统控制端口进行上行调度授权和下行调度分配，SS通过系统指示接口上报PCell的PUCCH调度信息接收和PCell/SCell的RACH preambles接收。在激活的SCell上配置的RACH过程由SCell控制，PDCCH order在控制SCell的PDCCH上发送。由SCell接收PRACH preamble，由PCell发送其相关的激活SCell的RAR。

3 LTE-A终端一致性TTCN-3载波聚合测试接口设计

为了配合载波聚合的测试模型和测试需求，TD-LTE/TD-LTE-Advanced协议一致性TTCN-3代码测试集在EUTRAN ASP EUTRA_PTC中添加了如下新的接口定义设计，下述的发送与接收都是以TTCN或者EUTRA_PTC为参照的。

（1）初始化小区类型（PCell/SCell）：在载波聚合的情景下，当初次添加一个CC相关的小区时，可预

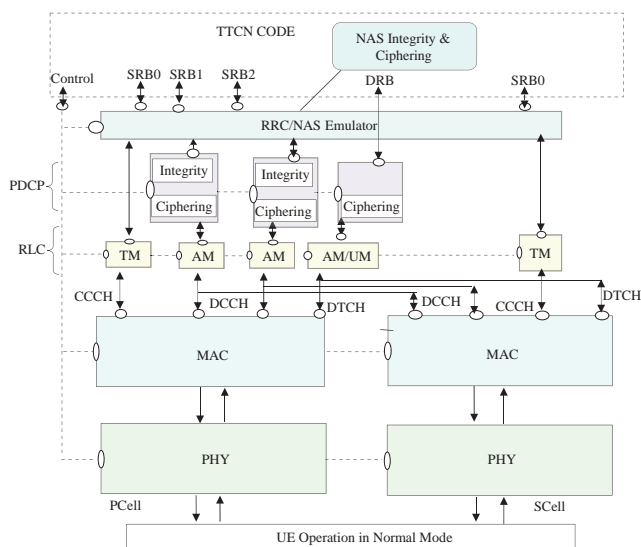


图2 CA-RRC测试模型

设小区的属性为主小区PCell或辅小区SCell。对于辅小区SCell，可能是被激活的Scell_Active或者是从未被激活的Scell_Inactive。

```
type enumerated CA_CellInitialConfig_Type {
    PCell,
    Scell_Active,
    Scell_Inactive
};
```

(2) 配置服务小区相关参数：当通过RRCConnectionReconfiguration过程为CA添加、修改、删除小区之后，将PCell、SCell相关的参数配置给服务小区或者将其释放Release恢复为非载波聚合的普通小区。

```
type union ServingCellConfig_Type {
    PrimaryCellInfo_Type    PCell,
    SecondaryCellInfo_Type  SCell,
    Null_Type                Release
};
```

(3) 配置PCell：为SS配置PCell相关参数。AssociatedScellList配置本PCell相关联的SCell列表，需要与对应的SCell关联PCell信息一致。MeasSubframePatternPCell（可选）配置PCell在对本身功率进行测量时的测量子帧图案，可以建立或者释放测量图案。

CrossCarrierScheduledCells-

List（可选）配置可能由PCell跨载波调度的小区列表。上述参数若配置则

需要与RRCConnectionReconfiguration消息中的内容保持一致。

```
type record PrimaryCellInfo_Type {
    EUTRA_CellIdList_Type AssociatedScellList,
    MeasSubframePatternPCell_r10 MeasSubframe-
    PatternPCell optional,
    CrossCarrierScheduledCellsList_Type Cross-
    CarrierScheduledCellsList optional
};
```

```
MeasSubframePatternPCell-r10 ::= CHOICE {
    release    NULL,
    setup      MeasSubframePattern-r10
};

type union CrossCarrierScheduledCellsList_Type {
    Null_Type    None,
    SCellIndexList_List CrossScheduledCells
};
```

(4) 配置SCell：配置SCell相关参数。AssociatedPcellId配置与本SCell相关联的PCell，需要与对应的PCell相关联的SCell列表对应；SCellIndex配置SCell的索引号；Scell_Capability（可选）配置SCell的载波聚合功能仅仅是下行DlOnly还是上下行UL_DL都存在；ScellDeactivationTimer（可选）配置SCell的去激活定时器，当有多于1个SCell与同一个PCell相关联时，该定时器将用于所有的SCell；CrossCarrierSchedulingConfig（可选）配置跨载波调度时，该SCell可由其本身Own调度并且可能调度其他SCell或者该SCell由其他ServingCell调度配置CrossScheduled；STAG_Id由R11 CA版本Timing Advance MCE引入，配置该SCell相关的TAG（Timing Advance Group）Identity。上述参数若配置则需要与RRCConnectionReconfiguration消息中的内容保持一致。

```
type record SecondaryCellInfo_Type {
    EUTRA_CellId_Type    AssociatedPcellId,
    SCellIndex_r10        SCellIndex,
```

```

Scell_Capability_Type Scell_Capability optional,
ScellDeactivationTimer_Type ScellDeactivation-
Timer optional,
CrossCarrierSchedulingConfig_Type CrossCarrier-
SchedulingConfig optional,
STAG_Id_r11 STAG_Id optional
};
type enumerated Scell_Capability_Type {
    DIOOnly,
    UL_DL
};
type union ScellDeactivationTimer_Type {
    MAC_MainConfig_ScellDeactivationTimer_
    Type NumberOfRadioFrames,
    Null_Type Infinity
};
type union CrossCarrierSchedulingConfig_Type {
    SchedulingCarrierConfig_Type Config,
    Null_Type None
};
type union SchedulingCarrierConfig_Type {
    CrossCarrierScheduledCellsList_Type Own,
    CrossSchedulingCarrierInfo_Type CrossSche-
    duled
};

```

(5) 激活SCell: SS激活/去激活SCell。在RRC-ConnectionReconfiguration过程添加SCell之后, SS通过在PCell上发送MAC Control Element PDU来激活相关联的SCell。ScellActivation设置该MAC CE的比特字符串, 其中需要激活的SCell的比特位置与SCellIndex一致; SendMCE表示控制SS发送或不发送该MAC CEPDU。是否发送MAC CE PDU的设置更加灵活地适用于CA-MAC层的测试。

```

type record ActivateScell_Type {
    ScellBitMap_Type ScellActivation,
    boolean SendMCE
};
type record ScellBitMap_Type {

```

```

B7_Type Value ,
B1_Type Reserved
};

```

(6) R10及以后协议版本配置RACH/PUSCH/SRS/CQI/UplinkPowerControl R10接口内容增加: 使用R10及以后TS 36.331协议ASN.1中的相关配置内容更新与载波聚合相关的RACH/PUSCH/SRS/CQI/UplinkPowerControl等接口定义。

4 LTE-A终端一致性TTCN-3载波聚合测试流程模块设计

TD-LTE协议一致性测试集利用了通用的函数模块以简化测试例的编写, 降低阅读的难度。例如小区初始化、注册、重配、测量、切换、重选、关机过程。对于包括单频段连续载波聚合、单频段非连续载波聚合和多频段非连续载波聚合这3类聚合方式下的LTE-A载波聚合测试例, 同样需要增加相应的通用流程。例如载波聚合3类聚合方式下测试频段和带宽的配置、PCell小区的配置、SCell的建立和配置、SCell的添加/修改/删除(包括RRC连接重配置过程和SS本身配置)、服务小区和邻小区功率测量上报、SCell的激活和去激活等通用函数模块。TD-LTE/TD-LTE-Advanced协议一致性TTCN-3测试集将载波聚合测试过程中的常用流程编写为公共模块, 引导具有载波聚合能力的终端完成注册、建立/释放连接、添加/修改/删除PCell或SCell、测量等活动, 将终端置于测试体所需的状态, 极大地简化了载波聚合测试例开发的代码, 突出了主测试体内容的测试流程。

5 LTE-A载波聚合的终端一致性测试集

LTE-A载波聚合的终端一致性测试例集中在TS 36.523-1第7章MAC层测试和第8章RRC层测试。MAC层测试内容涵盖了随机接入过程、上行定时调整、HARQ过程处理、功率余量上报、缓存状态报告、SCell激活与去激活。RRC层测试内容涵盖了SCell的添加/修改/释放、SCell SI修改、无UL的SCell添加、sTAG添加/修改/释放、MIMO的建立和修改、LTE同

频异频小区切换的各种场景（切换过程中PCell改变SCell添加、SCell释放、PCell改变SCell不变、SCell改变、PCell链路断开或SCell链路断开）、A1、A2、A6测量事件上报以及UTRAN切换到EUTRA添加SCell过程。

根据TDIA的最新统计，LTE-A终端一致性测试集载波聚合部分测试例有66个，包括CA Rel-10的36个和CA Enhancements的30个。其中对于CA Rel-10有FDD 34个，TDD 31个已通过验证，CA Enhancements有FDD 17个，TDD 15个已通过验证。

6 结束语

载波聚合作为LTE-A提速的核心技术，使得TD-LTE/TD-LTE-Advanced可以更充分地利用不对称频谱资源，且峰值速率较相同系统带宽FDD来说更高。TD-LTE/TD-LTE-Advanced协议一致性TTCN-3测试集中载波聚合测试功能的实现，促进了终端对载波聚合功能的完善并推动了TD-LTE/TD-LTE-Advanced产业的发展。

参考文献：

- [1] 3GPP TS 36.523-1. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Packet Core (EPC); User Equipment (UE) conformance specification; Part 1: Protocol conformance specification [S]. 2015.
- [2] 3GPP TS 36.523-3. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Packet Core (EPC); User Equipment (UE) conformance specification; Part 3: Test Suites [S]. 2015.
- [3] 3GPP TS 36.321. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification [S]. 2015.
- [4] 3GPP TS 36.331. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification [S]. 2015.
- [5] 3GPP TS 36.523-2. User Equipment (UE) conformance specification; Part 2: Implementation Conformance

Statement (ICS) proforma specification [S]. 2015.

- [6] 3GPP TS 36.508. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Packet Core (EPC); Common test environments for User Equipment (UE) conformance testing [S]. 2015.
- [7] 3GPP TS 36.509. Evolved Packet Core (EPC); Special conformance testing functions for User Equipment (UE) [S]. 2015.
- [8] 3GPP TS 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures [S]. 2015.
- [9] 王映民,孙韶辉. TD-LTE-Advanced移动通信系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2012: 291-301.★

作者简介



金毅敦：硕士毕业于北京邮电大学、现任TD产业联盟副秘书长，主要从事TD领域的产业研究与协调、共性技术推进、项目规划等工作。



王晰：工程师，硕士学位，现任职于TD产业联盟，从事TD-LTE终端协议一致性测试和RRM一致性测试TTCN代码的开发、调试以及可执行测试套的应用研究，并多次赴法国ETSI STF160工作组参与TD-LTE的TTCN测试集代码开发及维护工作。



陈晓忠：高级工程师，硕士学位，现任TD产业联盟终端一致性测试工作组组长、3GPP RAN5工作组副组长助理、电信科学技术研究院无线创新中心标准工程师，从事TDD终端一致性标准与技术研究、开发工作。

一种基于超长序列扩频调制解调技术的实现

余红明, 腾潢龙

(中国电子科技集团公司第七研究所, 广东 广州 510310)

【摘要】介绍了一种基于超长伪码序列扩频通信的原理、实现方法及仿真分析, 分析发现其在很低信噪比的情况下仍能正常工作, 具有较强的抗干扰和抗截获性能。

【关键词】超长序列 扩频通信 科斯塔斯环

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.014 中图分类号: TN914.42 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0068-04
引用格式: 余红明, 腾潢龙. 一种基于超长序列扩频调制解调技术的实现[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 68-71.

Implementation of Modulation and Demodulation Based on Long Sequence Spread Spectrum Communication

YU Hong-ming, TENG Huang-long

(China Electronics Technology Group Corporation No.7 Research Institute, Guangzhou 510310, China)

[Abstract] The principle, implementation method and simulation analysis of spread spectrum communication based on long PN sequence were introduced. Under very low SNR, it performs well and has strong ability of anti-jamming and anti-interception.

[Key words] long PN sequence spread spectrum communication Costas loop

1 引言

扩频通信被广泛地应用于现代商用和军事通信领域。扩频通信由于自身优良的抗截获和抗干扰性能, 成为军事通信对抗领域的一个研究热点。选择超长伪码序列可以增加隐蔽性, 降低截获率。长码直扩信号的伪码周期远大于符号周期, 改变了伪码的周期和相关特性, 使参数估计难度增大, 破译难度更高。对长伪码序列实施波形重合干扰也几乎不可能, 有的伪码序列周期长达10年之久。本文将对超长序列扩频通信的相关研究及仿真实现进行详细的介绍。

2 设计与实现

2.1 扩频解扩基本原理

扩频解扩原理框图如图1所示:

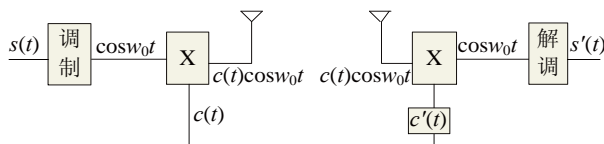


图1 扩频解扩原理框图

假设采用BPSK的调制信号, 调制信号为 $s(t)$, 发射端的扩频码为 $c(t)$, 接收端的扩频码为 $c'(t)$, 在扩频没有同步的时候, $c(t)$ 和 $c'(t)$ 是不一致的。

发射信号表示为: $T_x(t)=c(t) \times s(t) \times \cos w_0 t$ (1)

接收信号表示为: $R_x(t)=c'(t) \times s(t) \times \cos w_0 t$ (2)

收稿日期: 2015-04-07

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

解扩的目的是保持 $c(t)$ 和 $c'(t)$ 的一致, 此时 $R_X(t) = c(t) \times s(t) \times \cos w_0 t \times c'(t)$, 当 $c(t)$ 和 $c'(t)$ 一致时, 则有:
 $R_X(t) = c(t)^2 \times s(t) \times \cos w_0 t$ 。

数字调制时, $c(t)$ 取值为 ± 1 。则 $R_X(t) = s(t) \times \cos w_0 t$, 即同于发射端的调制信号, 此时只需要在后面进行解调处理即可。

数字扩频解扩波形如图2所示:

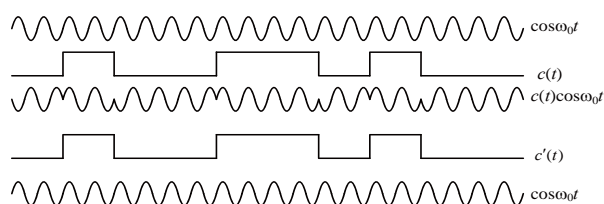


图2 数字扩频解扩波形图

实际情况是收信号 $c(t)$ 和发信号 $c'(t)$ 都是采用本地时钟, 所以会导致 $c(t)$ 和 $c'(t)$ 不一致的问题, 解扩的同步就是需要考虑 $c'(t)$ 如何与 $c(t)$ 保持同步的问题。

2.2 基于载波同步的扩频解扩实现

扩频解扩有多种实现方式, 如发射参考信号法、最大似然接收法、串行捕获法等。下面讨论基于载波恢复的扩频同步方法的实现。获取发射信号的载波信息, 可以采用科斯塔斯环载波同步的方法实现, 具体如图3所示。

接收到的信号为:

$$R_X(t) = c(t) \times s(t) \times \cos w_0 t \quad (3)$$

在环路锁定的情况下, DDS输出的两路本地载波分别为:

$$V1 = \cos(w_0 t + \theta), \quad V2 = \sin(w_0 t + \theta) \quad (4)$$

式中, θ 是DDS输入已调信号载波与输出信号之间相位的差值, 一般是一个很小的数值。

接收信号与 $V1$ 、 $V2$ 信号相乘得到

$V3$ 、 $V4$:

$$V3 = s(t)c(t)\cos w_0 t \cos(w_0 t + \theta) = \frac{1}{2}s(t)c(t)[\cos \theta + \cos(2w_0 t + \theta)] \quad (5)$$

$$V4 = s(t)c(t)\cos w_0 t \sin(w_0 t + \theta) = \frac{1}{2}s(t)c(t)[\sin \theta + \sin(2w_0 t + \theta)] \quad (6)$$

经过低通滤波LPF后, 得到 $V5$ 、 $V6$:

$$V5 = \frac{1}{2}s(t)c(t)\cos \theta \quad (7)$$

$$V6 = \frac{1}{2}s(t)c(t)\sin \theta \quad (8)$$

$V5$ 、 $V6$ 相乘产生的误差信号是 Vd :

$$Vd = \frac{1}{8}s(t)^2 c(t)^2 \sin 2\theta \approx \frac{1}{8}s(t)^2 c(t)^2 \times 2\theta = \frac{1}{4}s(t)^2 c(t)^2 \theta \quad (9)$$

它通过环路滤波器滤波后来控制DDS输出的相位和频率信息, 使稳态相位误差减小到很小的数值, 最终没有频差(即 w_c 同频)。此时DDS的输出就是所需的同步载波。

基于载波恢复的解扩实现原理如图4所示。

解扩步骤:

(1) 接收信号通过科斯塔斯(COSTAS)载波恢

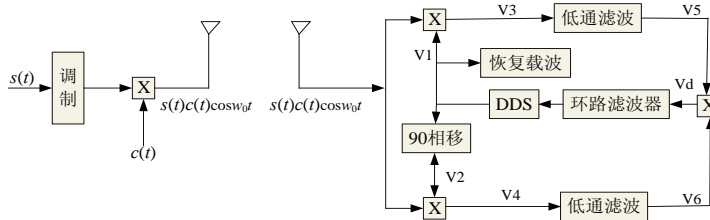


图3 科斯塔斯环载波同步原理图

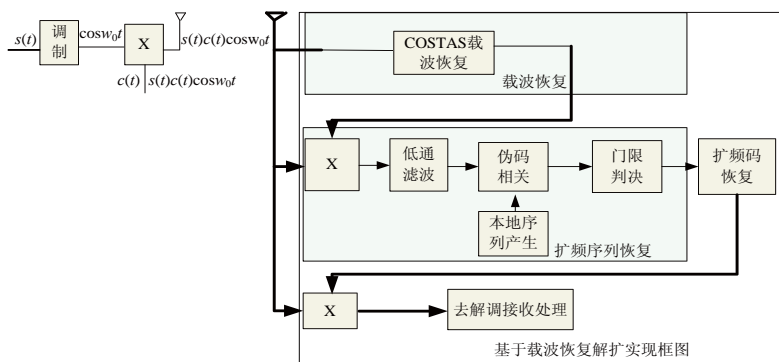


图4 基于载波恢复的解扩实现原理框图

复模块，恢复接收信号的载波 $\cos w_0 t$ 。

(2) 将 $\cos w_0 t$ 和原来的信号相乘后，得 $R_X(t)=c(t) \times s(t) \times \cos w_0 t \times \cos w_0 t$ ，通过低通滤波器滤除高频分量，得 $R_X(t)=c(t) \times s(t)$ ，即接收信号的扩频码和调制序列的乘积。将扩频码通过与本地的扩频序列做相关运算，得到相关峰，即可得到发送方的扩频码和起始位置。双方采用相同的扩频码，在恢复出起始位置的情况下，恢复出发送方的扩频序列 $c(t)$ 。

(3) 将 $c(t)$ 与接收信号相乘， $R_X(t)=c(t)^2 \times s(t) \times \cos w_0 t$ ， $c(t)$ 取值为 ± 1 。此时 $R_X(t)=s(t) \times \cos w_0 t$ 即为调制信号，送给后端做解调处理。

2.3 关于扩频解扩的仿真分析

在本系统仿真中，依然采用科斯塔斯环载波恢复方式，如图5所示。

本仿真扩频码同步采用滑动相关捕获法，滑动相关捕获法子系统框图如图6所示。

下面的仿真图是在信噪比为-30dB的情况下，将扩频倍数增大到1 024倍后做的仿真。由仿真图可以看出，在极低信噪比下，数据仍然能够很好地恢复出来。

(1) 在信噪比为-30dB的情况下，接收的信号波形图如图7所示。

(2) 载波恢复情况如图8所示。图8中上半部分为发射载波，下半部分为恢复载波。通过对比可以看出在信

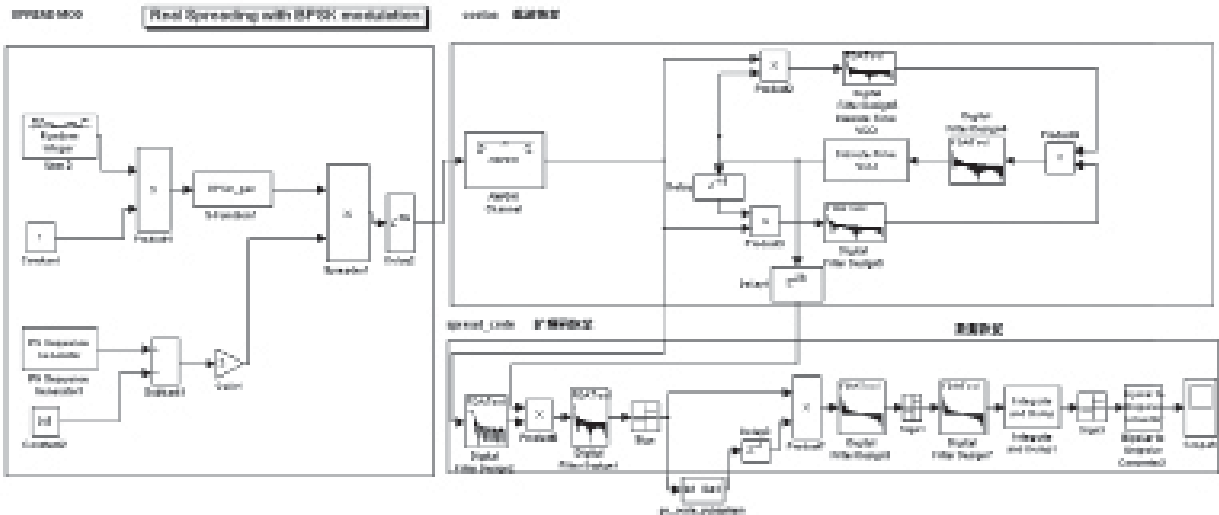


图5 扩频解扩的系统仿真图

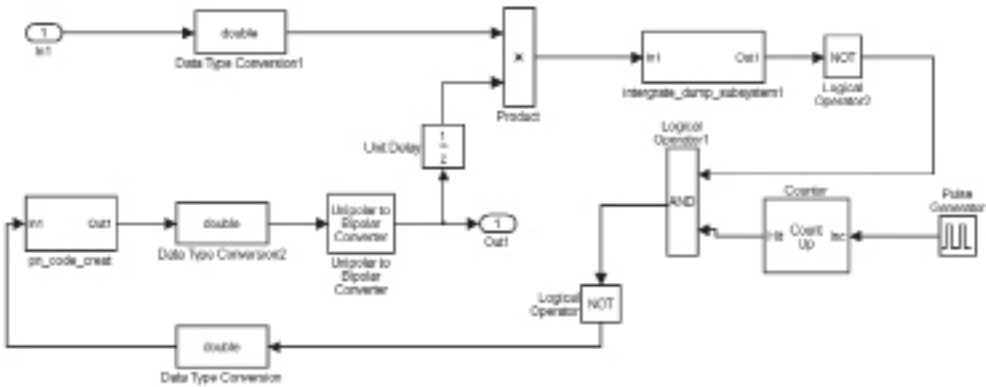


图6 滑动相关捕获法子系统

噪比为 -25dB 的情况下恢复载波没有问题。

(3) 扩频序列恢复情况如图9所示。图9中上半部分为恢复的序列,下半部分为原始序列。通过对比可以看出在信噪比为 -30dB 的情况下恢复扩频码没有问题。

(4) 数据恢复情况如图10所示。图10中上半部分为原始数据的序列,下半部分为经解扩和解调后恢复的数据。通过对比可以看出在信噪比为 -30dB 的情况下恢复数据没有问题。

3 结论

通过仿真分析,证明了超长序列扩频解扩的方法在极低的信噪比下仍能通信,而且大大增强了抗干扰能力,同时也提高了抗截获概率。

参考文献:

- [1] 曾兴雯,刘乃安,孙献璞. 扩展频谱通信及其多址技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [2] 查光明,熊贤祚. 扩频通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [3] 张少波,毕光国. 直接序列扩频系统中的捕获——一种方案的实现及其性能分析[J]. 通信技术与发展, 1997(2): 58-60.
- [4] 张星,屈定邦. DS/CDMA系统扩频序列的捕获技术[J]. 移动通信, 1998(6): 28-31.
- [5] 董长义,葛延峰,刘万辉,等. 扩频通信系统中伪随机序列捕获技术[J]. 大庆石油学院学报, 2004 (3): 96-98.
- [6] 高丙坤,阎胜玉,袁静,等. 直接序列扩频通信系统误码率的仿真分析[J]. 大庆石油学院学报, 2002(2): 40-42.
- [7] 胡建波,杨莘元,卢满宏. 一种基于FFT的高动态扩频信号的快速捕获方法[C]. 第十三届全国遥测遥控技术年论文集, 2004.
- [8] 黄颖. 直接序列扩频同步技术与系统的FPGA实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [9] 郝张红. 直接序列扩频通信系统中的时变干扰抑制关键技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

[10] 杨迪. 直接扩频接收机的码捕获与跟踪技术研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2007. ★

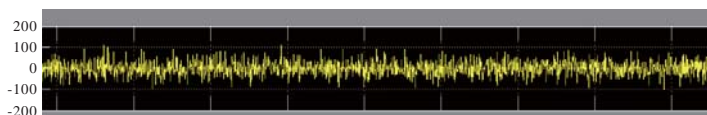


图7 在低信噪比情况下接收的信号波形图

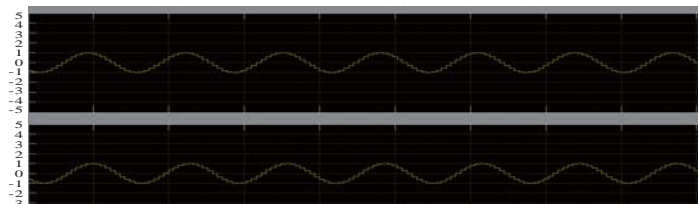


图8 在低信噪比情况下载波的恢复情况

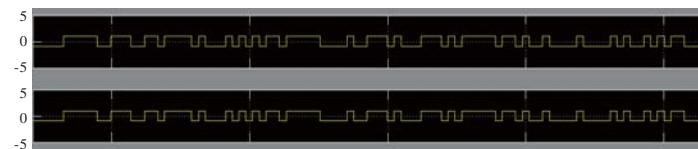


图9 在低信噪比情况下扩频码的恢复情况

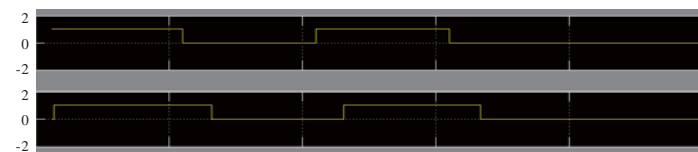


图10 在低信噪比情况下数据的恢复情况

作者简介



余红明: 工程师, 毕业于西安电子科技大学通信工程系, 现任职于中国电子科技集团公司第七研究所, 长期从事军用通信系统的研究与开发工作。



腾洪龙: 高级工程师, 毕业于北京理工大学计算机科学与工程专业, 现任职于中国电子科技集团公司第七研究所, 长期从事军用通信系统的研究与开发工作。

基于Tetrolet变换和支持向量机的 积雨云检测研究*

田文哲, 符冉迪, 金炜, 周颖

(宁波大学, 浙江 宁波 315211)

【摘要】 针对卫星云图的自然纹理特点, 提出了一种新的积雨云检测方法。首先利用Tetrolet变换对多种几何特征都可以实现最优逼近的特性, 提取云图的频谱纹理特征, 并结合传统的亮温及亮温差特征, 组成特征向量集; 然后通过训练支持向量机(SVM)分类器, 进行积雨云检测。对FY-2D卫星云图的实验结果表明, 该方法对积雨云的检测准确率达到95%以上, 相较于传统方法, 具有更强的泛化能力, 对雷暴等灾害天气的预警具有较高的参考价值。

【关键词】 Tetrolet变换 支持向量机 积雨云检测

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.015 中图分类号: TP75 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0072-06
引用格式: 田文哲, 符冉迪, 金炜, 等. 基于Tetrolet变换和支持向量机的积雨云检测研究[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 72-77.

Research on Cumulonimbus Detection Based on Both Tetrolet Transform and Support Vector Machine

TIAN Wen-zhe, FU Ran-di, JIN Wei, ZHOU Ying

(Ningbo University, Ningbo 315211, China)

[Abstract] According to the features of natural texture of satellite image, a novel cumulonimbus detection method was proposed. Initially, Tetrolet transform, which is able to optimally approximate multiple geometrical characteristics, was used to extract spectral texture feature of satellite image. Combined with features of traditional bright-temperature and bright-temperature difference, a feature vector set was formed. Then, by training support vector machine (SVM) classifier, cumulonimbus detection was conducted. Experimental results of FY-2D satellite image demonstrate the accuracy of proposed method to detect cumulonimbus is more than 95%, compare with traditional methods, it has stronger generalization with higher referential value to alert disaster weather such as thunderstorm.

[Key words] Tetrolet transform support vector machine cumulonimbus detection

*基金项目: 国家自然科学基金(61271399, 61373068);
宁波市自然科学基金(2011A610192, 2013A610055);
宁波市国际合作项目(2013D10011); 宁波大学学科项目(XKXL1306)

收稿日期: 2015-05-22

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

1 引言

气象卫星通过辐射成像原理得到纷繁多样的卫星云图, 其在天气预报方面具有极其重要的作用。积雨云的出现往往伴随着雷电、阵雨、冰雹甚至台风等自然灾害, 利用卫星云图进行积雨云的检测^[1], 意义深远。

实现积雨云的自动检测, 最重要的2个方面是特征

提取和分类器设计。目前最常用的特征为光谱特征和纹理特征。光谱特征包括其各个通道的辐射信息及其之间的亮温差信息,其能较好地反应云系的特性,但只用该特征不足以对积雨云实现准确检测。常用的纹理特征提取方法有灰度共生矩阵^[2]、半方差图等统计纹理特征和小波变换^[3]等频谱纹理特征。但统计法与视觉机能无关,不能对纹理进行更准确的描述。卫星云图能够视为一种准周期信号的自然纹理,基于多分辨率多通道的滤波算法与视觉机理相似,所以频谱纹理分析法更适合云图特征提取。然而小波变换只能分析点的奇异性,不能很好地体现纹理信息。**Tetrolet**变换作为一种新的多尺度几何变换,可对多种几何特征达到最优逼近,能更好地保持图像边缘和方向纹理特征。常见的分类方法有阈值法^[4-5]、聚类法^[6]、神经网络^[7]等。阈值法易受光照、季节等条件影响,聚类法不需要训练样本,但初始参数对其最终分类结果影响很大。神经网络作为一种人工智能法有良好的分类效果,但需要大量样本,而且存在局部最优问题。支持向量机(SVM, Support Vector Machine)^[8-9]建立在结构风险最小原理的基础上,并且引入核函数,在小样本、非线性及高维模式识别中有很大的优势。

本文提出了一种新的积雨云检测方法。首先利用**Tetrolet**变换提取云图的频谱纹理特征,然后结合光谱特征训练SVM分类器,最后利用训练所得的分类器进行积雨云检测。

2 Tetrolet频谱纹理特征

Tetrolet变换是Jens Krommweh在2010年提出的一种新的自适应Haar小波变换,其能够对多种几何特征达到最优逼近。**Tetrolet**变换^[10]首先将原图像分成若干个 4×4 子块,然后依据每个子块区域中的几何空间信息,利用不同的拼板将每个 4×4 子块再自适应地划分为4个小子块,最后对每个小子块进行离散Haar小波变换。5种基本拼板如图1所示:



图1 5种基本拼板示意图

对于 4×4 的子块,5种基本拼板有117种组合方式,若不考虑基本拼板的旋转和翻转,117种组合可以简化为22种,如图2所示:

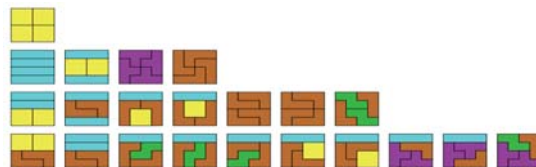


图2 基本拼板的22种组合方式

假设输入一幅 $N \times N$ 大小的图像: $a^0 = (a[i, j])_{i,j=0}^{N-1}$,其中 $a[i, j]$ 表示图像的像素, $N=2^j$,则最多可以进行 $j-1$ 层**Tetrolet**变换, $r=1,2,\dots,j-1$ 表示第 r 层变换。**Tetrolet**变换过程如下:

(1) 步骤1: 将第 r 层的低通图像 a^{r-1} 划分为若干个 4×4 子块。

(2) 步骤2: 对每一个 4×4 子块,按照117种排列方式进行分割,分别对其每种排列方式中的4小块拼板区域进行Haar小波变换。求得各排列方式下的4个低频系数(如公式(1)所示)和12个高频系数(如公式(2)所示)。

低频系数部分:

$$a^{r(c)} = (a^{r(c)}[z])_{z=0}^3, \text{ 其中,} \\ a^{r(c)}[z] = \sum_{(m,n) \in b_z^{(c)}} \varepsilon[0, B(m,n)] a^{r-1}[m,n] \quad (1)$$

高通系数部分:

$$w_b^{r(c)} = (w_b^{r(c)}[z])_{z=0}^3, \text{ 其中,} \\ w_b^{r(c)}[z] = \sum_{(m,n) \in b_z^{(c)}} \varepsilon[b, B(m,n)] a^{r-1}[m,n] \quad (2)$$

这里的 $\varepsilon[b, B(m, n)]$ 是Haar小波变换矩阵, c 为排列方式的序号, $b=0$ 表示低频, $b=1,2,3$ 分别表示3个方向的高频, z 表示第 z 个小块。根据各排列方式中得到的12个高频系数,计算最优排列方式,计算方法如公式(3)所示:

$$c^* = \arg \min_c \sum_{l=1}^3 \|w_l^{r(c)}\|_1 = \arg \min_c \sum_{l=1}^3 \sum_{s=0}^3 |w_l^{r(c)}[s]| \quad (3)$$

最小 c^* 值所对应的排列参数 c 即为最优的排列方式。这样对于每一个 4×4 的块区域都可以得到对应的最优分解系数,系数矩阵如公式(4)所示:

$$q = [a^{r(c)}, w_1^{r(c)}, w_2^{r(c)}, w_3^{r(c)}]$$

$$= (a^{r(c)}[0], w_1^{r(c)}[0], w_2^{r(c)}[0], w_3^{r(c)}[0], \dots, a^{r(c)}[3], w_1^{r(c)}[3], w_2^{r(c)}[3], w_3^{r(c)}[3])^T \quad (4)$$

(3) 步骤3: 从分解系数 q 中取出低频系数 $a^{r(c)}$ 排列成 2×2 矩阵, 即:

$$a_{Q_{i,j}}^r = R(a^{r(c)}) = \begin{pmatrix} a^{r(c)}[0] & a^{r(c)}[2] \\ a^{r(c)}[1] & a^{r(c)}[3] \end{pmatrix} \quad (5)$$

(4) 步骤4: 存储每一个 4×4 子块区域的12行的高通列向量(如公式(6)所示)和排列参数, 同时将各 2×2 块组合成的低通矩阵 $a^r = (a_{Q_{i,j}}^r)_{i,j=0}^{\frac{N}{2}-1}$ 作下一层分解。

$$w_{Q_{i,j}}^r = (w_1^{r(c)}[0], w_2^{r(c)}[0], w_3^{r(c)}[0], \dots, w_1^{r(c)}[3], w_2^{r(c)}[3], w_3^{r(c)}[3])^T \quad (6)$$

本文根据Haar小波分解的方向性, 将每层中每个 4×4 子块所得到的每个12行高通列向量 $w_{Q_{i,j}}^r$ 分为3类, 即水平(H)、垂直(V)、对角(D), 如公式(7-a)、(7-b)、(7-c)所示。然后将每层中所有 4×4 子块所得

到的对应类重新组合起来, 构成3个方向的高频信息, 如公式(8-a)、(8-b)、(8-c)所示。3层Tetrolet变换共得到9个高频信息, 即 $H1$ 、 $V1$ 、 $D1$; $H2$ 、 $V2$ 、 $D2$; $H3$ 、 $V3$ 、 $D3$ 。最后对这9个高频信息进行单独重构, 得到9幅重构图像, 进一步做高斯平滑处理, 作为9维Tetrolet频谱纹理特征。以 256×256 大小图像为例, 3层Tetrolet变换分解的过程如图3所示。

$$w(H)_{Q_{i,j}}^r = (w_1^{r(c)}[0], 0, 0, w_1^{r(c)}[1], 0, 0, w_1^{r(c)}[2], 0, 0, w_1^{r(c)}[3], 0, 0)^T \quad (7-a)$$

$$w(V)_{Q_{i,j}}^r = (0, w_2^{r(c)}[0], 0, 0, w_2^{r(c)}[1], 0, 0, w_2^{r(c)}[2], 0, 0, w_2^{r(c)}[3], 0)^T \quad (7-b)$$

$$w(D)_{Q_{i,j}}^r = (0, 0, w_3^{r(c)}[0], 0, 0, w_3^{r(c)}[1], 0, 0, w_3^{r(c)}[2], 0, 0, w_3^{r(c)}[3])^T \quad (7-c)$$

$$w(H)^r = (w(H)_{Q_{i,j}}^r)_{i,j=0}^{\frac{N}{2}-1} \quad (8-a)$$

$$w(V)^r = (w(V)_{Q_{i,j}}^r)_{i,j=0}^{\frac{N}{2}-1} \quad (8-b)$$

$$w(D)^r = (w(D)_{Q_{i,j}}^r)_{i,j=0}^{\frac{N}{2}-1} \quad (8-c)$$

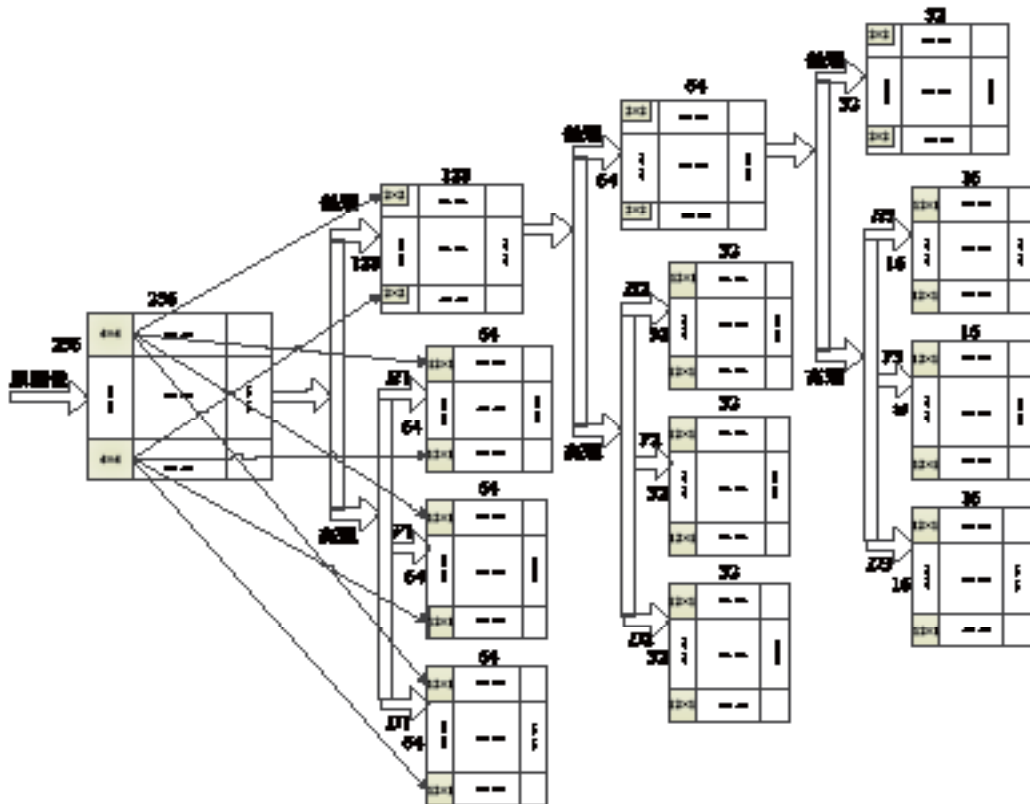


图3 256×256 大小图像的Tetrolet变换分解过程

3 支持向量机

对于样本集 $\{x_i, y_i | i=1, \dots, l\}$ 和核函数 $K(x_i, x_j)$ ，其中类别标签 $y_i \in \{-1, +1\}$ ， l 为样本个数，SVM优化问题和约束条件为：

$$\begin{aligned} \min \quad & \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l \xi_i \\ \text{s.t.} \quad & y_i[(w \cdot x_i) + b] \geq 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0, (i=1, 2, \dots, l) \end{aligned} \quad (9)$$

其中， w 为权重向量， b 为偏置， ξ_i 为松弛变量， C 为惩罚因子。将公式(9)转化为其对偶问题：

$$\begin{aligned} \min \quad & -\sum_{i=1}^l \alpha_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0, 0 \leq \alpha_i \leq C \end{aligned} \quad (10)$$

求得拉格朗日乘子 α_i ，其中 $0 < \alpha_i < C$ 对应的样本为分类面的支持向量 $x_i^\#$ ，则

$$w = \sum_{i=1}^m y_i \alpha_i x_i^\# \quad (11)$$

$$b = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m y_i \alpha_i x_i^\# (x_+^\# + x_-^\#) \quad (12)$$

其中 m 为支持向量 $x_i^\#$ 的个数， $x_+^\#$ 、 $x_-^\#$ 分别表示任意一个正类和负类支持向量。

最后得到最优分类超平面的决策函数：

$$f(x) = \text{sgn}((w \cdot x) + b) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^m \alpha_i y_i K(x_i^\#, x) + b\right) \quad (13)$$

当 $f(x)=1$ 时，判定测试样本 x 属于正类；当 $f(x)=-1$ 时，判定 x 属于负类。

4 积雨云检测模型

本文提取云图的光谱特征和频谱纹理特征，训练SVM分类器，进行积雨云检测。8维光谱特征的物理含义如表1所示^[11]：

表1 各光谱特征含义

特征名称	特征含义
IR1	主要代表地表或云层特征
IR2	
IR3	主要体现云的高度特征
IR4	主要代表海洋上低层的云特征
VIS	体现云厚度、高度以及成份
IR1-IR3	体现不同大气层高度的云特征
IR2-IR3	
IR1-IR2	主要体现卷云与积雨云的特征

积雨云检测的具体步骤如下：

(1) 步骤1：特征提取。对IR1通道云图进行Tetrolet变换，提取9维频谱纹理特征，然后结合8维光谱特征，组成特征向量集。

(2) 步骤2：样本选择。从训练图像中提取训练集。

(3) 步骤3：分类器训练。利用含有17维特征的训练集训练SVM分类器。

(4) 步骤4：检测。利用得到的训练模型进行积雨云检测。

5 实验结果及其分析

本文的实验均在Matlab(R2011b)编程环境下进行，实验平台为Windows7，CPU为Intel(R) Core(TM)2 Duo P8700 2.53GHz，RAM为2GB。实验数据来自国家气象卫星中心提供的FY-2D卫星的2013年2月14日03:30和04:30这2个时刻的IR1~VIS五通道兰勃特投影云图。在03:30时刻的云图中选取1 000个积雨云样本、1 000个背景样本，并从中各随机选200个样本组成训练集（共400个样本）。两部分中各剩余的800个样本组成测试集1（共1 600个样本）。在04:30时刻云图中选取1 000个积雨云样本、1 000个背景样本组成测试集2（共2 000个样本）。

为了证明Tetrolet频谱纹理特征及本文方法的性能，与3组实验进行对比，各组实验的特征集及分类器情况如表2所示，各组方法的检测准确率如表3所示。

表2 各组方法的特征集及分类器情况

组号	特征集及分类器	
	特征集	分类器
1	光谱特征	SVM
2	光谱特征+小波纹理特征	SVM
3	光谱特征+Tetrolet纹理特征	BP
4	光谱特征+Tetrolet纹理特征	SVM

对比表3中各组方法的检测准确率，可以看出对于测试集1，由于样本来自训练云图，所以各组方法的检测结果比较接近，但本文所述方法的检测准确率为96.625%，达到最高。对于下一时刻的测试集2，后两组利用Tetrolet纹理特征所得的检测准确率普遍高于前

表3 各组方法的检测准确率

组号	准确率/检测准确总数（背景/积雨云）	
	测试集1 1600(800/800)	测试集2 2000(1000/1000)
1	95.687%/1531(768/763)	91.250%/1825(951/874)
2	96.125%/1538(757/781)	93.200%/1864(971/893)
3	95.062%/1521(731/790)	94.450%/1889(894/995)
4	96.625%/1546(761/785)	95.600%/1912(973/939)

两种特征集的91.250%和93.200%。尤其是积雨云的检测个数，后两组分别为995和939，远高于前两组的874和893。对比后两组的两种不同分类器方法，虽然BP网络的积雨云检测个数均为最高，但背景检测结果及整体检测准确率均远低于本文所述的方法。这说明基于Tetrolet频谱纹理特征，能更好地反映积雨云的本质特性，本文所述方法具有更明显的积雨云检测效果。

为了更加直观地说明本文所述方法的优良性能，给出各组方法对两个时刻的积雨云检测结果图，并与专家检测结果进行对比。专家检测结果如图4所示，各种方法的检测结果如图5所示（上面一排图为03:30时刻检测结果，下面一排图为04:30时刻检测结果）。

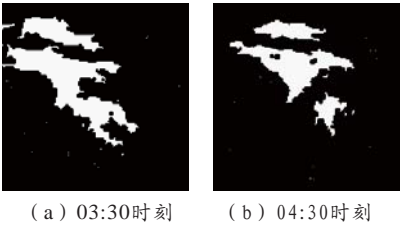


图4 专家积雨云检测结果

与专家检测图对比可知，图5（a）基于光谱特征得到的积雨云检测图中，虽然积雨云的大致范围已检测出来，但积雨云边缘位置并不准确，尤其是对04:30时刻的积雨云检测效果较差。增加小波频谱纹理特征后，图5（b）中积雨云的位置基本能够准确地被检测出来，但边缘的点过于分散。图5（c）中BP网络将大量非积雨云区划分为积雨云区。图5（d）的积雨云检测结果显示，本文所述方法所得的积雨云

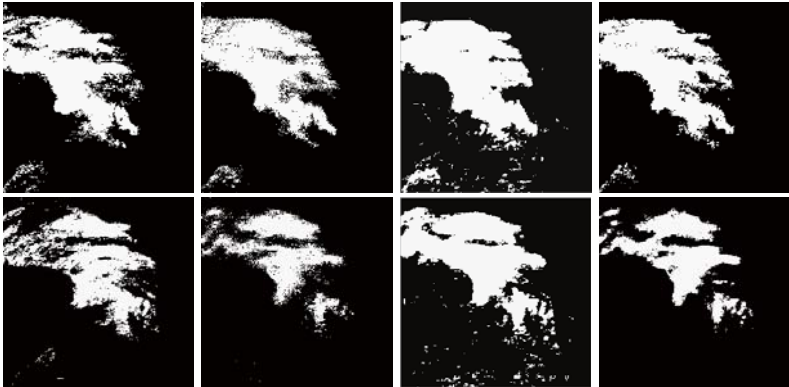


图5 各组方法的积雨云检测结果

位置更加准确，且边缘效果更好。

6 结束语

针对卫星云图的自然纹理特性及传统分类方法的问题，本文利用Tetrolet变换提取云图的频谱纹理特征，利用SVM方法构建分类器，提出一种新的积雨云检测方法。实验表明，与传统的积雨云检测方法相比，本文所述方法具有更好的积雨云检测效果以及更优的泛化性能。

参考文献：

[1] 王振会,黄兴友,马舒庆. 大气探测学[M]. 北京: 气象出版社, 2011.

[2] 王晓蕾,杜智涛. 云图纹理特征参数提取方法和分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2006(1): 39-42.

[3] 丁海勇,卞正富. 基于SVM算法与纹理特征提取的遥感图像分类[J]. 计算机工程与设计, 2008(8): 2131-2132.

[4] Thomas F, Remy R. An Algorithm for the Detection and Tracking of Tropical Mesoscale Convective Systems Using Infrared Images from Geostationary Satellite[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013,7(51): 4302-4315.

[5] LIU Yan'an, WEI Ming, GAO Wei, et al. Short-term Automatic Forecast Algorithm of Severe Convective Cloud Identification Using FY-2 IR Images[J]. Journal of Remote Sensing, 2012,16(1): 79-85.

- [6] Berendes T A, Mecikalski J R, MacKenzie Jr W M, et al. Convective Cloud Identification and Classification in Daytime Satellite Imagery Using Standard Deviation Limited Adaptive Clustering[J]. Journal of Geophysical Research, 2008,113(20): 1-9.
- [7] LIU Yu, XIA Jun, SHI Chun-xiang, et al. An Improved Cloud Classification Algorithm for China FY-2C Multi-channel Images Using Artificial Neural Network[J]. Sensors, 2009,9(7): 5558-5579.
- [8] V Vapnik. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York: Springer-Verlag, 1995.
- [9] V Vapnik. Statistical Learning Theory[M]. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [10] KROMMW EH J. Tetrolet Transform: A New Adaptive Harr Wavelet Algorithm for Sparse Image Representation[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2010,21(4): 364-374.
- [11] 石小云. 基于神经网络方法的卫星图像云分类[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012. ★

作者简介



田文哲：硕士研究生就读于宁波大学，研究方向为数字图像处理。



符冉迪：硕士毕业于解放军信息工程大学，宁波大学副教授，研究方向为数字图像处理、模式识别、稀疏表示。



金炜：博士毕业于重庆大学，宁波大学副教授，研究方向为遥感图像处理、多尺度几何分析、压缩感知、光电检测。

第一线荣获 2014国际杰出顾客关系服务奖

第一线有限公司近日荣获由亚太顾客服务协会举办的2014国际杰出顾客关系服务奖。第一线客户关怀总监陈志成夺得本届2014杰出顾客关系管理经理（网络传讯组）的殊荣，并于6月12日联同其他获奖机构代表出席了在香港九龙东皇冠假日酒店举行的国际杰出顾客关系服务奖颁奖典礼晚宴，与活动嘉宾共同分享获奖喜悦。

第一线网络业务联席总裁吴海金表示：“在过去数年间，我们持续投放了数百万港币的资源来优化我们的客户服务中心，当中包括引入更完善的配套设施以及提升更全面的服务准则，务求在多协议标签交换的虚拟专用网络领域提供最优质的服务。在陈志成的领导下，我们的团队专心一致为客户提供专业的咨询服务，并对工作中的每一个细节都一丝不苟。这一次能够获得亚太顾客服务协会所颁发的杰出顾客关系管理经理的殊荣，陈志成和其团队都感到十分鼓舞。在今后的发展过程中，我们将继续坚守优质的服务承诺，为一直信赖我们的客户创造更高的价值。”

国际杰出顾客关系服务奖旨在提升各国际都会的顾客服务质量和优质顾客关系，并肯定公营机构、私营机构，乃至个人为客户提供的出色服务所作出的贡献。获得该奖项提名的企业需通过自我表现基准、商业方案汇报、神秘电话、以优质顾客服务标准进行实地考察、公众投票，再由多位杰出顾客关系专家作最后评审。第一线有限公司能在个人奖项类别中获此殊荣，彰显了业界对其在网络传讯客户服务方面所作努力的肯定。（本刊）

自动化测试框架在漫游清算系统中的应用

何莹¹, 彭达²

(1. 中国移动(深圳)有限公司, 广东 深圳 518048;
2. 珠海金山网络游戏科技有限公司, 广东 珠海 519000)

【摘要】 为提高清算中心的测试效率, 降低手工测试成本, 通过对自动化测试技术进行研究, 结合漫游清算系统业务流程, 设计了一种自动化测试框架: DCHAutoTest。该框架基于Robot Framework, 采用Python语言进行测试脚本开发, 使用RIDE测试工具对测试脚本进行管理与调度, 实现了测试执行、测试报告生成自动化, 大大提高了测试效率。

【关键词】 漫游清算系统 自动化测试框架 清算中心 Robot Framework Python RIDE

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.016 中图分类号: TP311.56 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0078-06
引用格式: 何莹, 彭达. 自动化测试框架在漫游清算系统中的应用[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 78-83.

Application of Automation Test Framework in Roaming Clearing System

HE Ying¹, PENG Da²

(1. China Mobile (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518048, China;
2. Zhuhai Kingsoft Online Game Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

[Abstract] In order to improve testing efficiency of clearing house and reduce cost of manual testing, automation testing technology was researched and an automation test framework DCHAutoTest was designed combined with business process of roaming clearing system. Based on Robot Framework, Python language was used in the framework to develop testing script, while RIDE was adopted to manage and schedule testing script. Thus, test implementation and test report were generated automatically to highly improve testing efficiency.

[Key words] roaming clearing system automation test framework clearing house Robot Framework Python Robot Framework integrated development environment

1 引言

随着用户漫游业务量的不断增加, 清算中心对处理漫游话单的及时性、准确性的要求也日益加强。在此背景下, 如何提高测试的效率以保证软件质量, 快速响应不断变化的业务需求, 降低软件测试脚本的维

护工作量, 提高测试用例的复用率, 也就成为了业内关注的热点。

通常情况下, 具备交互界面的众多软件和Web系统, 一般都可采用自动化测试工具, 通过捕捉录制和回放的方式来实现功能测试的自动化。漫游清算系统核心功能为后台程序, 不具备交互界面, 无法进行捕捉录制, 因此其测试过程相对复杂很多。

同时, 几种漫游清算系统的业务处理流程相同, 如图1所示, 程序功能类似, 测试方法完全一样。如

收稿日期: 2014-12-11

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

果能设计一种自动化测试框架, 将此类程序的测试方法封装成测试库中的关键字, 就可以大大提升清算中心自动化开发和维护的效率。

正是在这种情况下, 本文设计了基于Robot Framework技术的自动化测试框架DCHAutoTest。该框架将测试流程中的业务逻辑同具体的测试数据/脚本解耦, 提高了脚本的重用性, 减少了脚本的维护量, 适应了软件测试发展的需要。

2 Robot Framework测试技术

Robot Framework是一个通用的关键字驱动的自动化测试技术, 可以通过一种非常简单的机制, 使用Python或Java实现一个测试库。通过测试库中实现的关键字来驱动被测软件。测试用例以HTML, 纯文本或TSV(制表符分隔的一系列值)文件存储。在测试用例中以表格的形式定义清楚每一步执行操作的关键字, 然后由脚本读入表格的每一行, 根据关键字来执行对应的动作。

Robot Framework灵活且易于扩展, 除了自带的标准库, 还有很多外部扩展库可用。如使用Selenium Library中的关键字来实现对Web的远端操作, 使用Database Library来查看Web操作对数据库的操作, 使用SSH Library启停服务器上的程序、查看日志文件等, 另外还可以自己开发实现特定功能的测试库。Robot Framework非常适合测试有不同接口的复杂软件、用户接口、命令行、Web服务、专有的编程接口等。

Robot Framework提供了一个图形用户界面, 叫做RIDE。RIDE能够编辑和管理用例、保存关键字的资源文件、执行测试用例、生成测试报告等。图2介绍了Robot Framework的结构图。

3 DCHAutoTest自动化测试框架

3.1 DCHAutoTest框架介绍

目前, Robot Framework测试技术对Web自动化测

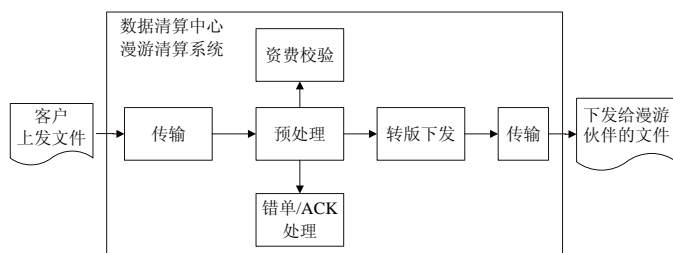


图1 漫游清算系统业务处理流程示意图

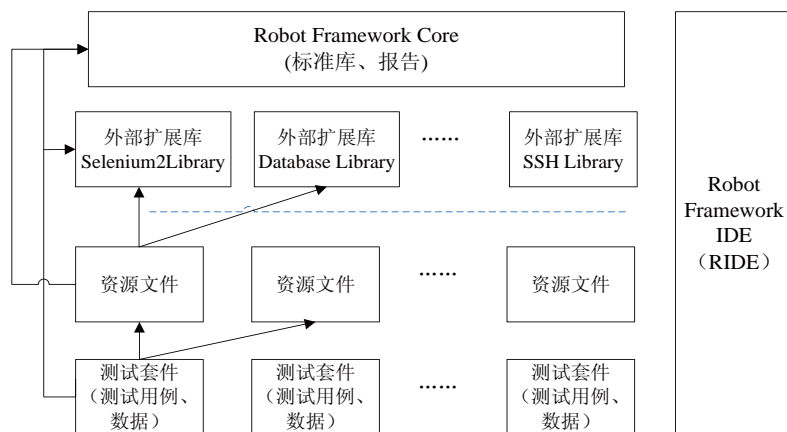


图2 Robot Framework结构图

试支持得较好, 其中Selenium2Library测试库包含的关键字能基本满足Web测试要求, 在Web系统的自动化测试中应用较广。但该框架对Linux/Unix端的自动化测试支持较弱, 且其测试库内基于Linux/Unix的后台应用较少。因此, 本文结合Robot Framework和Python的优点, 开发出自动化测试框架DCHAutoTest, 其主体程序基于Robot Framework测试库, 用Python开发而成, 同时设计了自己的测试用例模版, 该系统运行在Robot Framework的IDE上。DCHAutoTest自动化测试框架如图3所示。

DCHAutoTest包括如下主要模块: 测试环境搭建模块、测试用例解析模块、测试数据处理模块、测试执行模块、测试结果分析模块、日志获取与分析模块。DCHAutoTest可支持多种清算系统的自动化测试, 同时针对各清算系统的差异性, 该框架可自己开发项目级的测试库, 以满足各系统自动化测试需求。

DCHAutoTest框架的处理流程如图4所示。

3.2 DCHAutoTest处理流程介绍

DCHAutoTest的处理流程如下所示：

(1) 测试准备：包括测试用例和测试数据准备。测试人员编写好测试用例（包括环境配置信息与测试数据处理说明），把准备好的测试用例和测试数据存放到指定的目录。

(2) 测试环境搭建：DCHAutoTest系统根据环境配置信息，进行环境搭建，包括环境变量设置，清理输入目录、输出目录和相关表数据等操作。启动Main.py将根据项目开始配置，自动进行环境搭建。

(3) 测试用例解析：进行测试用例信息读取、解析。

(4) 测试数据处理：DCHAutoTest系统根据测试用例中对测试数据的要求，进行测试数据的规范化处理，包括话单文件上传、公参信息导入、话单日期修改、数据和文件备份等操作。

(5) 测试执行：测试数据处理完成之后，DCHAuto-Test系统模拟测试用例“执行步骤”的要求，在待测试系统上进行操作。

(6) 测试结果分析：根据测试用例中设置的检查点，如“SQL语句”、“日志内容”等，对数据表、日志文件进行分析，判断该条

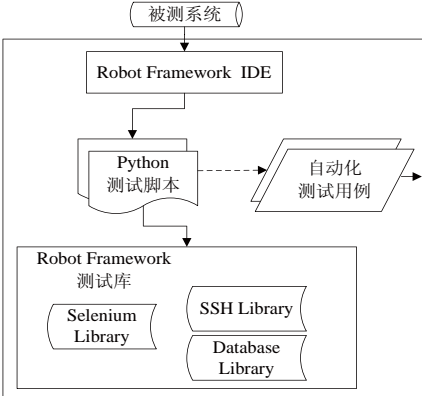


图3 DCHAutoTest框架图

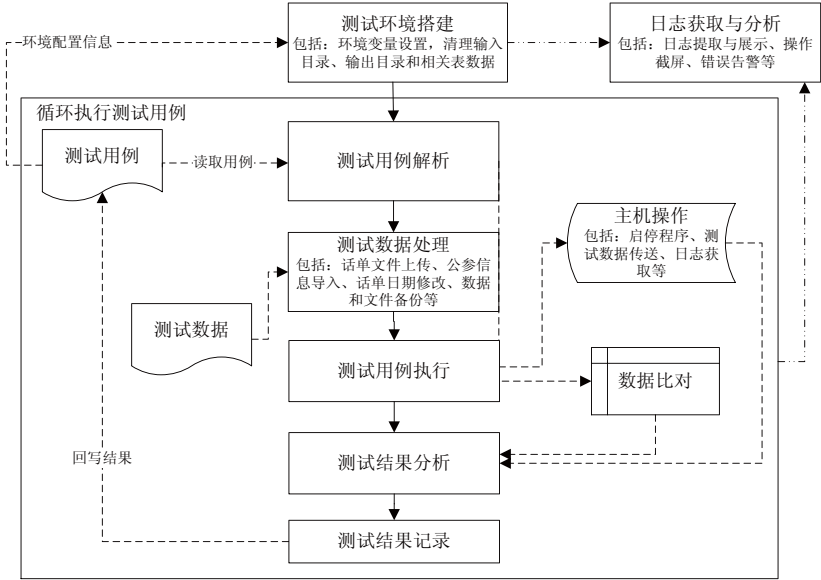


图4 DCHAutoTest处理流程图

所属项目	案例编号	所属模块	标题	测试步骤	预期输出	初始化环境	执行命令	上传文件名	上传目录	SQL语句	SQL预期结果	运行结果	失败原因
【此行为样例】 FMS	1	某业务线	达到金额门限	1. 达到金额门限 2. 启动后台进程，处理在一段时间内话单 3. 检查处理结果	1、产生金额门限告警 2、前台生成工单	1.truncate_user_table.sh 2.>/opt/mcb/fms/var/log/sys.log	1. java -jar A.jar & 2. java -jar B.jar 3. java -jar C.jar wmi_gd wcd &	1.Test 20150105005	1./opt/mcb/fms/inc/coming/	1.select content from table1 where imsi=460001124232301	1.<起始时间, 结束时间>用户名称<国家名称>国际漫游话单累计金额<数值>元(国际业务线)	PASS	
【此行为填写说明】 必填项，推荐以字母的形式			测试用例基本内容			1. 后面各列为选填内容：可以按实际需求按执行的先后，从左至右依次填上各列内容，不执行的列留空。填写格式是数字序号加具体内容，多条内容必须换行。如有新增检查点，可添加。 2. 初始化环境部分可以填写已经写好的shell脚本文件，也可以是具体执行的命令，也可以是sql语句	填写测试时需要执行的命令	上传文件与上传目录一一对应，序号1的文件上传到序号1的上传目录		SQL语句跟SQL预期结果一一对应。序号1的SQL语句对应序号1的预期结果。如果一个SQL语句有多个预期结果，则把多个预期结果的序号写在同一行。	脚本运行结束后会自动填上结果“PASS”或者“FAIL”	如果运行结果是“FAIL”，则会自动填上失败原因	

图5 自动化测试用例模版

测试用例是否执行通过。如果不通过，则捕获失败的原因。

(7) 测试结果记录：将分析结果填到测试用例表的“运行情况”一栏，如果测试不通过，填写“失败原因”分析结果。

(8) 结束判断：如果本次执行的是最后一条用例，则循环结束；否则继续步骤(3)~步骤(8)。

(9) 日志获取和分析：DCHAutoTest系统处理的整个过程中，都会进行日志分析，主要功能为日志提取与展示、操作截屏、错误告警等。

3.3 DCHAutoTest测试用例设计

测试流程与业务数据的分离/解耦，可以降低自动化测试开发成本，提高脚本的可重用性，降低测试用例的维护难度。为此，针对漫游清算系统的特点，设计了适用于DCHAutoTest的自动化测试用例模板。

测试人员可根据自动化测试用例模版，如图5所示，编写测试用例。其内容包括测试内容、步骤、预期输出、初始化环境、执行命令、上传文件名、上传目录等。自动化测试启动时，程序将测试执行结果自动填写到测试用例的“运行结果(PASS或FAIL)”栏、“失败原因”栏。

通过规范自动化测试用例的填写要求，不懂脚本开发的测试人员也可以完成自动化测试用例的编写和维护，易于向整个测试团队推广使用。

4 实验结果与分析

目前，应用DCHAutoTest自动化测试系统框架，已实现了多个清算系统的自动化测试功能。如某小型清算系统已实现了307个自动化案例，该自动化测试系统可在夜间无人值守的情况下，5小时内执行完全部用例，并能分析数据库和日志文件结果，与预期结果进行比较，将测试结果填写到测试用例。相比手动测试而言，大大提高了执行效率。

本节给出在中型漫游清算系统上运用DCHAutoTest框架进行自动化测试的结果，选择手工测试方法作为结果对比的基准方法，用以验证本文所设计的新框架的有效性。

4.1 实验环境与数据集

实验环境包括漫游清算系统和DCHAutoTest框架，前者运行在Linux主机上，后者运行在Windows2007上，具体配置如表1所示：

表1 范例所对应的环境配置

	CPU	内存	磁盘	操作系统	支撑环境
漫游清算系统	4核	16G	300G	RHEL6.3 64bit	10台同构服务器
DCHAutoTest	N/A	N/A	N/A	Windows2007	Robot Framework 2.8.3 Python 2.7.5 RIDE 1.2.3

实验数据集为该清算系统对应的全部测试用例，测试用例记录字段包括用例ID、所属项目、所属模块、用例标题、测试步骤和预期输出等。在DCHAutoTest系统框架上执行测试用例，并分析测试过程中产生的日志，包括RIDE、主机、数据库和中间件等类型的设备所产生的操作记录日志。日志记录字段包括操作时间、操作用户名、客户端IP、操作内容、操作结果。实验中，分别设置在测试用例数目为100条到1 000条的条件下，所提出模型与基准模型所需要的执行时长作为实验结果性能对比。在实验结果展示中，手动测试表示所选择的基准模型方法，本文所提出的新模型方法用DCHAutoTest标记，测试时间以小时为单位进行标记。

4.2 实验结果

将测试用例数设置为100条开始进行实验。在多组实验中，逐渐增加测试用例数量，直到测试用例数为1 000条。设置测试用例数增长步长为100条，以此来验证在不同测试用例数的条件下，这2种方法所用时长，具体如图6所示。从图6所展示的结果曲线图可以看出，随着用例数的增加，基准方法所需要的执行时长趋于指数级增长。用例数据量的急剧增长给整个执行时长带来显著影响，具体表现为图6中较大斜率曲线的变化趋势；而基于DCHAutoTest的方法的执行时长随着用例数据量的急剧增加，所需的执行时长变化趋于直线且性能稳定。

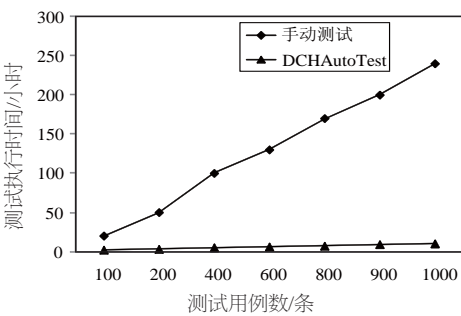


图6 测试执行时间VS测试用例数

在不同的测试用例数量设置条件下，这2种方法所需要的具体时长如表2所示。从表2可以看出，基于手动测试方法的执行时长远远大于基于DCHAutoTest的方法。当查询数为100条时，测试时间达到20小时，而DCHAutoTest方法却只需要2小时，节省了90%的时长；当测试用例数增加至1 000条时，手动测试方法查询时间急速增加到240小时，而DCHAutoTest方法只需要17.5小时，节省了96%的时长。

表2 测试执行时长（单位：小时）

测试用例数量 \ 实验方法	100	200	400	600	800	900	1 000
手动测试	20	50	100	130	170	200	240
DCHAutoTest	2	3	5	6	7	9	10

下面将比较测试数据量的增长幅度对执行时长的影响，选择用例数分别为100、200、1 000的测试数据，这2种方法在不同数据量增长率情况下，执行时长变化情况如表3所示：

表3 测试数据量不同增长率对应的执行时长增长率

实验方法 \ 测试数据量增长率	手动测试	DCHAutoTest
100%	150% ↑	50% ↑
900%	900% ↑	400% ↑

当测试用例数据量从100条变化到200条时，这时数据量的增长率为100%，基准方法与DCHAutoTest方法的执行时长分别增长150%和50%，增长率相差

100%；而当测试用例数据量从100条急剧变化到1 000条时，基准方法与DCHAutoTest方法所需执行时长分别增长了900%和400%，增长率之差达到500%。这2种方法的对比结果说明在数据量急剧增长的情况下，基于DCHAutoTest的方法相比基本方法耗时更短、效率提升幅度更大，同时也说明基于DCHAutoTest的方法在规模化系统的测试中优势明显。

图7描述了分别在100条和200条测试用例情况下的执行时长。从图7可以看出，在2种不同测试用例数的设置条件下，基于DCHAutoTest的执行效率远远优于基准方法。而测试用例数从100条到200条的增长过程中，所提出的DCHAutoTest方法执行时长增加幅度较小，而基于手动测试的方法执行时长增加幅度较快。此结果说明基于DCHAutoTest的方法在测试用例数目急剧增长的情况下，执行时长的绝对值和增长幅度相对手动测试而言都不大，其在执行性能上表现出更强的稳定性。

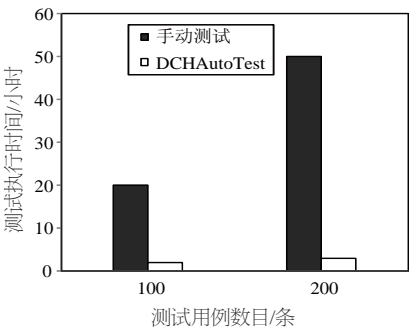


图7 2种实验方法的综合结果对比图

5 结论

DCHAutoTest框架大大地简化了测试的流程，节省了大量的人力和时间。通过测试用例模版的设计与框架相结合，在漫游清算系统的后台自动化测试中得到了很好的应用。DCHAutoTest通用性强、框架灵活、可扩展性强，测试对象由清算系统可扩展到其他任何系统，只要挑选好功能模块，即可进行自动化测试。主框架提供的功能模块可以自由组合，并且可以根据需要继续完善补充。系统的特定需求可以进行额外开发，不影响主框架。

在应用过程中,开发和测试分工明确,使得该框架极易推广。开发人员主要负责整个自动化框架的开发及运维,并可根据测试人员的需求对特定项目做额外开发。测试人员根据项目需求选择可用的功能模块后填写自动化用例表,并使用DCHAutoTest进行执行,遇到技术性问题可转由开发部门进行解决。

总之,基于Robot Framework技术的DCHAutoTest框架,提出和实现了一种针对后台系统的自动化测试框架,并在漫游清算系统中得到了广泛应用,为后台系统的自动化测试提供了新思路。

参考文献:

- [1] 张克东. 软件工程与软件测试自动化教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 朱菊,王志坚,杨雪. 基于数据驱动的软件自动化测试框架[J]. 计算机技术与发展, 2006(5): 68-70.
- [3] 冯玉才,唐艳,周淳. 关键字驱动自动化测试的原理和实现[J]. 计算机应用, 2004(8): 140-142.
- [4] 王磊. 关键字驱动的自动化测试框架设计与实现[J]. 电子测试, 2010(8): 87-93.
- [5] 黄侨,葛世伦. 开源Web自动化测试框架的改进研究[J]. 科学技术与工程, 2012(15): 3630-3635.
- [6] 杨杰荣,李先国. 迭代开发模式中功能测试自动化的研究与实现[J]. 计算机工程与设计, 2007(20): 4862-4864.

[7] 张磊,王晓军. 基于STAF框架下的自动化测试[J]. 计算机技术与发展, 2010(3): 116-120.

[8] Wesley J Chun. Python核心编程(第二版)[M]. 宋吉广, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

[9] Elfried Dustin. 自动化软件测试实施指南[M]. 余昭辉,范春霞,等译. 北京: 机械工业出版社, 2010.★

作者简介



何莹: 测试高级工程师, 硕士毕业于华中科技大学, 现任职于中国移动(深圳)有限公司, 主要从事自动化测试的研究。



彭达: 技术总监, 硕士毕业于湖南大学, 现任职于珠海金山网络游戏科技有限公司, 主要从事大数据、大规模存储/传输、分布式架构等的研究。

国际电信联盟提出5G网络全球标准化

据报道,国际电信联盟已同意5G通信网络的定义,指定未来5G网络将至少有20Gbps的速度。

国际电联表示,5G商业化将在2020年进行。由国际电信联盟提出的5G网络已经在全球标准化,将被国际认可。借助至少20Gbps的5G网络,用户10秒钟就能够下载一部UHD电影,5G网络也将能够在一平方公里的范围内为超过一百万台物联网设备提供超过100Mbps的平均数据传输速度。

5G技术的正式名称是IMT-2020,尽管商业化要到2020年才能开始,但是会在2018年进行第一个重大演示活动。国际电联计划在2018年韩国平昌举行的冬季奥运会上演示5G技术。KT将作为展示5G技术在游戏方面的官方赞助商。

此外,5G网络国际频谱分配将在2019年开始。(飞象网)

电信运营商的IDC业务转型浅谈

甘志辉¹, 陈博²

(1. 中国电信集团公司网络运行维护事业部, 北京 100010;

2. 北京邮电大学, 北京 100010)

【摘要】 随着“宽带中国”、“互联网+”战略上升至国家层面, 电信运营商经营的IDC业务面临着重要的发展机遇, 同时也面临着前所未有的竞争和困境。应用互联网思维, 重点从管理体制、资源布局、业务流程、市场营销等方面提出了一些转型的思考。

【关键词】 电信运营商 互联网数据中心 数据中心互联 虚拟化数据中心 集约化经营

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.017 中图分类号: TN915.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0084-04

引用格式: 甘志辉, 陈博. 电信运营商的IDC业务转型浅谈[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 84-87.

Discussion on Transformation of Telecom Operators' IDC Services

GAN Zhi-hui, CHEN Bo

(1. Network Operation and Maintenance Department, China Telecommunications Corporation, Beijing 100010, China;

2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100010, China)

[Abstract] With Broadband China and Internet+ strategies enhanced to national level, the IDC business is facing important developmental opportunities and unprecedented competition and dilemma. Combined with Internet thinking, some transformation ideas were put forward from aspects of management system, resource layout, business processes and marketing.

[Key words] telecom operator Internet data center data center interconnection virtualized data center intensive management

1 IDC业务对电信运营商的战略价值

IDC (Internet Data Center, 互联网数据中心) 是指一种拥有完善的设备 (包括高速互联网接入带宽、高性能局域网络、安全可靠的机房环境等)、专业化的管理、完善的应用级服务的专业服务平台。在这个平台基础上, IDC服务商为客户提供互联网基础平台

服务以及各种增值服务。IDC通常被认为是互联网的基础资源, 互联网经济越发达, 互联网上的内容和应用资源就越多, 对IDC的需求就越大, 因此可以说, IDC是互联网发展的晴雨表。

随着“宽带中国”、“互联网+”上升至国家战略层面, IDC产业迎来了又一次发展高峰期。对于电信运营商来说, 作为IDC产业的主导者, IDC业务对其自身正在实施的战略转型将具有更加重要的战略价值。

首先, 伴随着数据流量的爆炸性增长, 未来几年国内IDC市场将保持高速增长的态势, 具体如图1所

收稿日期: 2015-04-30

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

示。IDC将成为IP互联网的中心，掌控住IDC能帮助电信运营商汇聚更多互联网内容，提升内容访问质量，从而拉动前向用户稳步发展，巩固传统优势地位。其次，IDC市场发展空间巨大，在传统电信业务收入放缓的情况下，可有效拉动电信运营商的全业务收入增长。最后，IDC业务是云计算、CDN与大数据业务发展的基础，对于电信运营商向综合信息服务提供商的战略转型具有重要的助力作用。

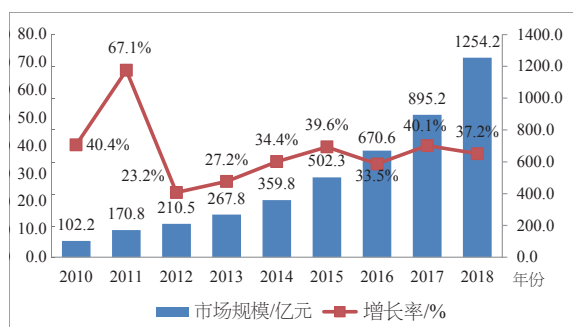


图1 2010—2018年国内IDC市场规模

近年来电信运营商作为行业主导者的角色正在受到挑战，市场份额呈下降趋势，如图2所示。面对日益激烈的市场竞争，传统的经营模式已经无法跟上IDC业务的发展需要。首先，电信运营商属地化的经营模式造成IDC资源布局混乱，缺乏有效整合，资源利用率不均衡。其次，电信网络的运营理论造成IT能力、建设周期、流程审批等效率低下，难以快速响应客户需求。最后，电信运营商的IDC业务条块切割，横向和纵向职能分散的管理体制，造成业务发展难以实现

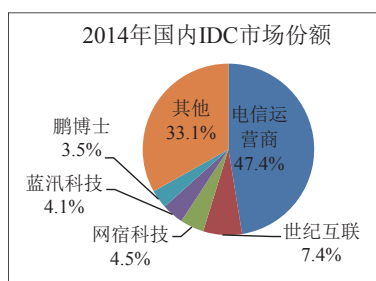
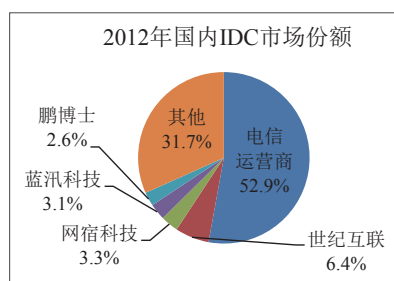


图2 国内IDC市场份额

全网协同。基于以上种种弊端，电信运营商有必要重新审视当前的业务运营模式。必须通过业务发展模式的转型，提升业务竞争力。

2 IDC业务发展趋势

（1）IDC的发展阶段

一般来说，IDC经历了3个发展阶段，即计算中心阶段、信息中心阶段和服务中心阶段。

第一代IDC称为计算中心阶段，功能以基础设施托管服务为主；第二代IDC称为信息中心阶段，IDC成为企业IT基础设施的核心，能同时提供各种增值服务；第三代IDC称为服务中心阶段，它要求IDC计算、存储、网络等资源实现云化，能满足客户按需的、整合式的服务。第一代、第二代IDC功能单一、分散设置、规模较小，第三代IDC突出了安全、绿色、智能、模块化的特点，是IDC产业发展的方向。

（2）电信运营商所处的阶段

目前，国内电信运营商正处于第二代IDC向第三代IDC跨越的阶段。要在未来市场中继续占据主导地位，电信运营商需要重点解决2个问题：一个是管理体制问题，一个是技术问题。

解决管理体制问题主要是在现有体制允许的框架内，应用互联网思维，克服传统经营模式的缺陷。其关键在于通过对管理体制、业务流程、市场营销、资源布局等方面进行改造升级，实现有效的集约化运营，从而使得IDC业务的利润和效率双提升。

解决技术问题主要是转变传统的“城-邦”式经营模式，借助IDC云化技术将原本分散的、孤立的数据中心资源充分利用，统一管理。其关键在于尽快对现有IDC业务的计算、存储、网络等资源实现云化，平滑度过技术升级的窗口期，实现有效的集约化运营，从而使得IDC业务的资源管理效率提高。对于电信运营商而言，IDC云化的一个焦点，无疑是网络。DCI（Data Center Interconnect，数据中心互联）网络颠覆了传统的IDC网络架构，并以

VDC（Virtual Data Center，虚拟化数据中心）的形态对外提供统一的资源调配和管理服务。

本文将针对IDC业务集约化经营的一些关键问题展开讨论。

3 用互联网思维经营IDC业务

何谓互联网思维？小米手机创始人雷军认为互联网思维的核心是专注、极致、口碑、快。对于电信运营商来说，持续挖掘业务内在价值、不断提升客户使用体验、着力打造行业领导品牌、快速响应市场多变需求就是用互联网思维集约化经营IDC业务。

（1）持续挖掘业务内在价值

伴随IDC产业的升级，IDC与云计算的界限将变得越来越模糊，两者呈现出一种既分离又关联的耦合相关性。云计算固然是未来的一种行业发展趋势，但过分关注云计算而忽略了IDC业务，将会导致IDC业务集约运营的实际效果大打折扣。因此，电信运营商在业务转型时，应做到IDC业务与云计算业务适当隔离。运营商主业部分重点专注于IDC基础业务的运营，将分散的、孤立的数据中心由“点”变成“面”，转变传统运营模式，大力发展绿色节能数据中心，降低单位成本，最终实现从关注收入到关注利润，从关注客户到关注用户，从关注价格到关注价值的转变。

（2）不断提升客户使用体验

“大道至简”，不断地提升客户体验就是降低客户使用门槛，就是消除客户使用顾虑，就是快速响应客户需求，就是最大化客户让渡价值。对于电信运营商来说，应围绕客户的上述诉求持续不断地以迭代的方式，完善增值服务、提高自动化服务水平、开发自服务门户以及降低客户使用成本。

（3）着力打造行业领导品牌

电信运营商在移动业务、传统固网业务方面积累了很强的品牌认知度和用户忠诚度，但在IDC业务方面，电信运营商在传统行业细分市场（传统行业市场指非互

联网行业市场）上的品牌认知度远远不及第三方IDC服务商。未来IDC服务必然走向定制化、个性化。面对越来越专业的客户群体，电信运营商应尽早建立统一的专业IDC服务品牌形象，并逐步树立以服务制胜的行业口碑。

（4）快速响应市场多变需求

IDC业务应把资源布局动态化、把计算能力弹性化。实现资源透明、敏捷布置、扁平管理，做到计算资源即调即用，交付时间即需即可，消费模式即付即用，提高服务交付和维护的自动化水平，快速适应市场的多变需求。

4 IDC业务的转型建议

电信运营商要实现IDC业务的转型，建议从构建组织架构、统筹资源布局、改善管控手段和优化营销模式这4个方面着手。

（1）构建组织架构

要以互联网思维经营IDC业务，要求电信运营商突破机制枷锁，构建一种有利于实现业务纵向一体化集约运营的组织架构。结合当前电信运营商正在进行的混合所有制改革和现有组织架构，提出一种有利于实现集约运营的组织架构设想，如图3所示。

在集团公司内部设立IDC分公司（或IDC运营中

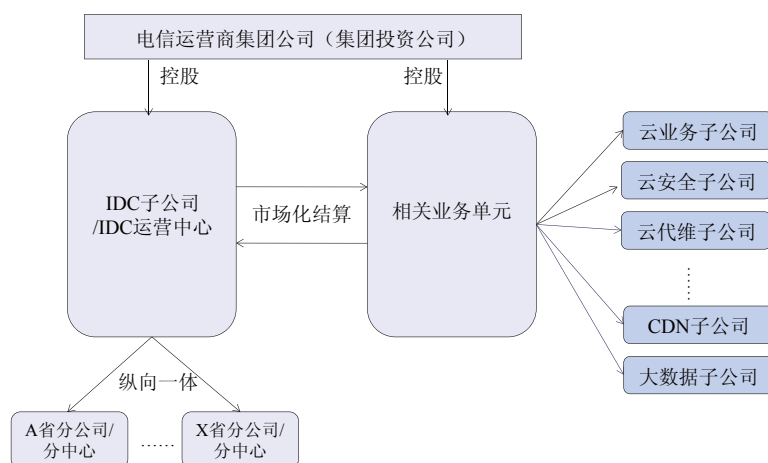


图3 集约运营的组织架构

心)，以基础资源为竞争力，具备重资产特性，独立实体，两级架构。从人员到财务、从建设到运营、从市场到销售对业务进行统筹规划，实现与传统“城-邦”式经营的电信业务相对隔离，并与相关业务单元进行市场化结算。

相关业务单元专注于上层云计算业务的拓展，结合混合所有制改革，通过控股、参股、兼并收购的方式，进一步加大合作，孵化出更多专业子公司。每个子公司聚焦核心业务，退出非核心业务，全面转型移动互联网。

（2）统筹资源布局

打造网格化、扁平化、去中心化的IDC专网，统筹规划全网IDC基础资源布局。电信运营商应加快DCI网络能力建设，基于VDC实现各省IDC资源的互联，打破资源管理布局混乱的“城-邦”式结构，实现对全国资源管理的透明化、机房布局的合理化、产品运营标准化。并基于DCI内东西向流量流向和客户需求，增加转发点和业务点，提供更有差异化的增值服务。

（3）改善管控手段

重点抓好业务开通系统、资源管理系统和网管监控系统这三大IT系统的建设。最终实现IDC业务的“五统一”，即统一客户视图、统一业务受理、统一资源管理、统一维护服务、统一产品规格。

（4）优化营销模式

打造“产品-渠道”双维度的“集团-省”两级营销服务体系，兼顾互联网客户（ISP/ICP）和传统行业客户，兼顾集团公司总体利益和各地市局部利益。

总之，电信运营商应以我为主，博采众长，充分发挥互联网思维，优化当前的组织模式、运营模式和商业模式。构建一体化的IDC运营体系，才能实现IDC基础设施的“集约化”，业务提供的“社会化”，业务管理的“专业化”以及服务提供的“个性化”。

参考文献：

- [1] 史琳. 我国IDC市场持续高速发展云计算将引领新一轮建设热潮[J]. 世界电信, 2013(4): 52-56.

- [2] 李延东,赵秋爽. IDC的智能化与运营管理系统建设[J]. 电信技术, 2013(1): 30-32.
- [3] 赵志雄. 基于云计算的电信通信网络关系分析技术研究与应用[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [4] 王征,刘峰. 云计算在IDC中的应用研究和实践[J]. 邮电设计技术, 2011(7): 65-69.
- [5] 季璋,金敏玉. 云计算环境下IDC建设模式探讨[J]. 邮电设计技术, 2013(9): 27-30.
- [6] 张晨. 云计算在IDC中的应用与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [7] 杨宏宇,林峰. 云时代下IDC建设的实践与思考[J]. 广播与电视技术, 2011(7): 44-48.
- [8] 罗承,刘亮. 云计算对IDC发展的影响分析[J]. 电信工程技术, 2010(12): 4-6.
- [9] 魏进武,张云勇,陈清金. 云计算推动IDC向VDC转型的研究[J]. 电信科学, 2010(11): 34-38.
- [10] 周婧,郭慧,欧阳艳,等. 云计算环境下IDC建设研究[J]. 信息系统工程, 2013(1): 45-47.★

作者简介



甘志辉：硕士毕业于南京邮电大学通信与信息系统专业，现任职于中国电信集团公司网络运行维护事业部，主要从事IDC运营工作。



陈博：博士就读于北京邮电大学经济管理学院管理科学与工程专业。

一种基于排队机的智慧营销系统的设计与实现

王波, 陈标

(中国移动通信集团广东有限公司东莞分公司, 广东 东莞 523000)

【摘要】 针对客户进入移动营业厅使用排队机等待时间长, 从而导致客户满意度低的问题, 提出了一种基于排队机的智慧营销系统。该系统由消息获取模块、短信发送模块、智慧分析模块、业务开通模块这4个部分组成, 实现了全流程、自动化智能营销。该系统拓展了排队机的应用范围, 可以应用于基于客户的精准营销。

【关键词】 排队机 智慧营销 短信发送模块 智慧分析模块

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.018 中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0088-04
引用格式: 王波, 陈标. 一种基于排队机的智慧营销系统的设计与实现[J]. 移动通信, 2015, 39(12): 88-91.

Design and Implementation of Intelligent Marketing System Based on Queuing-Machine

WANG Bo, CHEN Biao

(China Mobile Group Guangdong Co., Ltd., Dongguan Branch, Dongguan 523000, China)

[Abstract] Considering customer's long wait on the front of queuing machine in mobile business hall resulting in low user satisfaction, an intelligent marketing system based on queuing-machine is proposed in this paper. The system consists of information acquisition module, message sending module, intelligent analysis module and business opening module, which implements complete and automatic intelligent marketing. The system expands the application range of queuing machine which can be applied to customer-based precision marketing.

[Key words] queuing machine intelligent marketing message sending module intelligent analysis module

1 引言

排队是有限资源的分配方法之一, 是一种常见的生活现象^[1], 是由某种资源需求和资源提供部门对该资源的供给不平衡所导致的^[2]。排队机是具有自动呼叫分配 (ACD, Automatic Call Distributing) 功能的语音交换机系统和坐席组成的服务终端^[3], 已广泛应用于通信、银行、医院等多个领域。早期的排队机是随着电

信运营商为提升用户电信服务能力, 各地大力建设114查号台、112查障台等特种业务台而发展起来的, 当时的排队机功能仅限于来话均匀分配以及人工自动应答。现在的排队机功能已发展为可以提供远程监控、联网联机发号并自动优化等待时间算法的多功能服务终端设备^[4]。

2 业务需求分析

2.1 现状调查

截止目前, 广东移动东莞分公司 (以下简称“东

收稿日期: 2015-04-13

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

莞移动”）沟通100服营业厅共部署了102套排队取号机，每月约有40万客户通过排队机取号办理业务。从服务厅业务集中度来看，周末、月末及节假日，尤其是公司开展短期业务营销活动时，客户办理业务较为集中^[5]。随机采集2015年4月11日（星期六）全市营业厅业务办理情况显示（如表1所示），样本数共554名，客户最长排队等候时间为37分13秒，最短等候时间为32秒，平均等待时间为6分15秒。而对该批客户进行排队等待时长满意度调查显示（如图1所示），满意客户仅占25%，在造成客户不满意的原因调查中，“营业厅排队等候时间过长”和“排队时无聊”是客户不满意的主要因素，部分客户在“改进建议”中提到“可以在排队等候时开展优惠或者业务介绍”等来提升客户感知。

表1 东莞移动某天营业厅客户等待时间统计表

时段	客户等待时间			样本数
	最长等待时间	最短等待时间	平均等待时间	
全时段	0:37:13	0:00:32	0:06:15	554
9:00-10:00	0:05:25	0:00:45	0:03:21	20
10:00-11:00	0:09:34	0:00:32	0:05:18	36
11:00-12:00	0:15:15	0:01:52	0:07:11	57
12:00-13:00	0:25:24	0:03:37	0:12:00	84
13:00-14:00	0:27:12	0:05:23	0:14:32	93
14:00-15:00	0:12:37	0:03:36	0:04:31	47
15:00-16:00	0:15:42	0:02:31	0:05:26	52
16:00-17:00	0:21:20	0:04:11	0:07:54	76
17:00-18:00	0:37:13	0:07:35	0:17:34	89

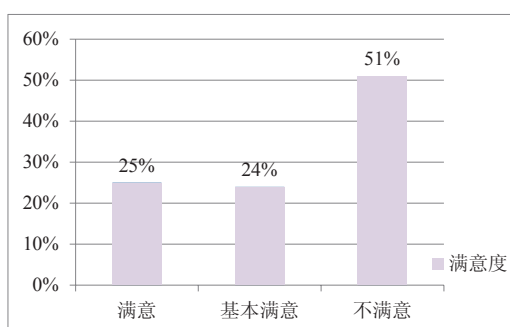


图1 东莞移动某天营业厅客户等待时长满意度情况

2.2 业务需求分析

如果说在客户服务中，排队是不可避免的，那么

在客户排队这一现状一时难以彻底解决的情况下，通过优化业务流程，分散客户注意力，适时开展产品营销和优惠方案推送可以为顾客创造一个良好的服务环境，同时有助于提升客户感知^[6]。一方面，运营商亟需创新的渠道开展客户接触及有效营销。目前在运营商进行客户接触的渠道中^[7]，短信营销已被“滥用”导致客户信任度低，外呼资源紧张并且成本较高，社会渠道业务佣金成本较高，自有互联网渠道需要投入较多的开发资源及推广资源。而沟通100服营业厅需客户到厅服务，所以接触客户有限。另一方面，到达服务厅的用户具有较多的等候时间，运营商具有全面丰富的客户消费、社会学及上网行为等“大数据”可以开展用户业务营销建模分析，加之目前短信等资源又比较丰富，完全可以利用客户排队时间开展客户营销和优惠介绍。

3 总体方案设计

3.1 流程交互图

基于排队机的智慧营销系统流程交互图如图2所示^[8]。在客户取号时，排队机系统响应客户取号请求，打印排队纸条的同时，触发实时通知接口，将相关的客户排队信息（用户手机号码、票号ID、业务名称、业务代码、获取时间、营业厅的渠道号、等待人数等）传递给智慧营销系统，由智慧营销系统根据智慧分析模块的分析结果和智慧引擎的业务处理逻辑，根据推荐列表（如表2所示）对客户开展实时营销。整个系统部署在DMZ（Demilitarized Zone）区，客户信息安全可以得到有效保障。

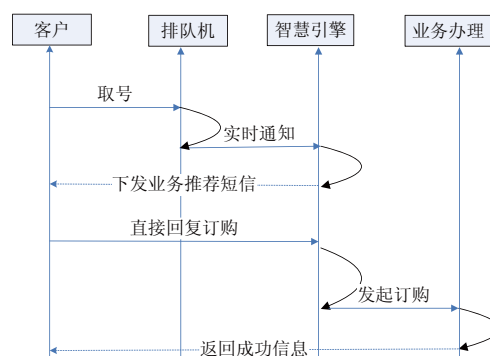


图2 基于排队机的智慧营销系统流程交互图

表2 智慧引擎推荐列表

客户编号	业务1	业务2	业务3
1	iPhone 6	东莞日报	GPRS 10元叠加包
2	手机游戏	手机阅读	GPRS 10元闲时包
3	手机报	GPRS 20元4G包	酷派 大神F1 Plus
4	手机阅读	GPRS 20元4G包	手机游戏
...

3.2 实现方案

本系统由实时消息获取模块、短信发送模块、智慧分析模块、业务开通模块这4个部分组成，完成了从用户请求信息实时获取、智慧分析、触发营销、即时办理等全流程贯通，从而实现了自动化用户时间碎片营销。具体描述如下：

（1）实时消息获取模块^[9]：智慧营销系统与排队机管理系统通过统一、规范的接口实现实时数据对接。Client（排队机管理系统）将用户排队信息（用户号码、排队序号、业务办理类型、排队时间等）通过Http通讯协议传送给Server端（智慧营销系统），Server端反馈数据传送成功等信息并打印排队纸。排队机管理系统与智慧营销系统数据交互图如图3所示：

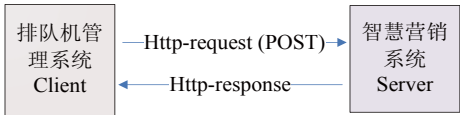


图3 排队机管理系统与智慧营销系统数据交互图

（2）短信发送模块：智慧营销系统接收到用户排队信息后，按照预定的短信发送协议给用户下发信息，输入http://10.249.1.44:8085/webface/urlAction.do?user=smbak&pwd=0FE28A3ECD5F7E110B8B6D6F58A42C87&fun_id=101&user_no=15918401234&channel_id=1&busi_name=test1&busi_id=1&get_time=12456465¬e_id=45&hall_channeid=A12456&wait_personnum=12，下发给用户的信息示例如图4所示。

（3）智慧分析模块：主要根据当前的存量客户业务办理信息，使用关联模型规则，结合当前主推的业务清单及优惠列表，进行建模分析，得到客户业务最佳匹配关系列表（如表2所示）。关联规则算法是一种

10658265555
尊敬的客户您好，您的排队号为A0168，前面有0位客户，请耐心等待。GPRS20元套餐有效为您节省手机上网流量费用。详询请回复hqqp20。中国移动

图4 SMS网关模块信息示例

用于挖掘频繁项集的非常流行和有效的算法。

定义：Support({飞信、邮箱})=NumberofTransactions(飞信、邮箱)。

表示项集{飞信、邮箱}的支持度由同时包含飞信和邮箱用户组成，定义“飞信→邮箱”表示使用飞信的用户也会使用邮箱，其概率（Probability）定义如下：

$$\text{Probability（飞信} \rightarrow \text{邮箱）} = \text{Probability（邮箱/飞信）} = \frac{\text{Support(飞信、邮箱)}}{\text{Support(飞信)}}$$

以上概率越大，代表置信度越高。由此全量样本进行分析，根据用户已办理业务得到该用户的可能办理业务列表。

（4）业务办理模块：收到用户的业务订购确认短信后，将业务办理请求发送到业务办理系统，实现业务办理。

4 实现效果

4.1 应用效果

本项目在东莞移动进行了系统设计及实现。以2015年3月份为例，共开展19元4G流量王套餐营销客户306 154个，实现业务办理量10 715笔，成功率为3.5%。预计全年可带来业务收入2 571 600元。运营效果示意图如图5所示，测试结果如表3所示：

表3 测试结果

测试项目	测试结果
试营销业务	4G套餐
接触用户数/个	306 154
办理量/单	10 715
成功率/%	3.50
实现业务收入/元	214 300



图5 运营效果示意图

4.2 创新点

(1) 定义了一套基于排队机的智慧营销系统设计与实现流程, 提出了排管系统信息获取、智能推荐、业务办理等自动化智能营销流程。

(2) 定义了一种营业厅排队机应用新方法, 即在排队叫号的基础上结合传统短信等开展客户服务及业务营销。

5 结束语

本文所提出的基于排队机的智慧营销系统设计与实现主要针对营业厅客户等待时间进行自动化营销, 有利于整合渠道营销资源, 提升客户满意度, 优化客服服务流程, 促进业务增收。但该系统仍有部分功能需要完善, 如智慧分析模块需与经营分析系统进行对接, 以提高营销应用的精准性。需要对不耐烦顾客开展的排队模型进行研究以优化智慧分析引擎, 来提升客户满意度等^[10]。

参考文献:

[1] 叶兴团. 排队系统提升供电企业服务[J]. 中国高新技术企业, 2013(24): 138-140.

[2] 张云龙. Z银行网点客户排队管理研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.

[3] 王志中. 排队机的技术发展及其应用[J]. 通信世界, 2001(21): 51-51.

[4] 李拓影. 基于排队和动态优先级的电话客服算法的优化设计与实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.

[5] 刘丹. 中国电信湘潭分公司实体渠道绩效评价及提升策略研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.

[6] 陈翠虹. M银行前台的“排队机劫持”现象与服务改进研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.

[7] 马晓珂. 县级供电企业营销服务接触点管理[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

[8] 寇义冉, 张瑞雪. 基于银行排队机的物流车辆排队系统的开发与应用[J]. 河北冶金, 2014(2): 59-62.

[9] 邹春刚. 一种基于WebService的分布式排队机方案[J]. 电子技术与软件工程, 2014(13): 212-213.

[10] 杜晔. 基于顾客行为选择与环境风险作用下的超市模型研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014. ★

作者简介



王波: 信息系统项目管理师, 硕士毕业于中国地质大学(武汉), 现任职于中国移动通信集团广东有限公司东莞分公司, 主要研究领域有运营商大数据研究与应用, 信息系统项目管理等。



陈标: 高级工程师, 硕士毕业于中山大学, 现任职于中国移动通信集团广东有限公司东莞分公司, 主要研究领域有移动通信企业管理, 运营商大数据研究与应用等。

KPI与业务体验相结合的移动宽带客户感知评价体系研究

李治国

(中国联合网络通信有限公司河南省分公司, 河南 郑州 450008)

【摘要】 从宽带移动互联网时代承载的业务、用户体验入手, 分别对基于语音的网络质量评价体系、基于用户业务体验的评价体系进行分析。结合运营商快速定位网络问题, 确保用户良好体验的实际需要, 论证了在分析和定位问题时, 网络质量指标和业务体验指标均不可或缺的观点。提出了构建基于KPI和业务体验相结合的移动宽带客户感知综合评价体系的建议并在实践中进行应用。

【关键词】 移动宽带 性能关键指标 关键质量指标 用户体验指标

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2015.12.019 中图分类号: TN929.53 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2015)12-0092-05
引用格式: 李治国. KPI与业务体验相结合的移动宽带客户感知评价体系研究[J]. 移动通信, 2015,39(12): 92-96.

Research on Perception Evaluation System of Mobile Broadband Customer Based on KPI and Business Experience

LI Zhi-guo

(China Unicom Network Communications Co., Ltd., Henan Branch, Zhengzhou 450008, China)

[Abstract] According to carried business and customer experience in mobile Internet era, both the network quality evaluation system based on voice and the evaluation system based on customer's business experience were analyzed, respectively. Combined with quick network localization for operators to guarantee good customer experience, it was demonstrated that both network quality and business experience indicators are indispensable in analysis and localization. A comprehensive perception evaluation system of mobile broadband customers based on both KPI and business experience was put forward which was applied in practice.

[Key words] mobile broadband key performance indicator key quality indicator customer experience indicator

1 引言

随着宽带无线接入技术和移动终端技术的飞速发展, 手机上网已成为人们日常生活不可或缺的一部分。根据中国互联网信息中心(CNNIC)第35次中国互联网发展统计报告显示: 截止2014年年底, 全国互

联网用户达6.49亿, 其中手机网民用户达到5.57亿, 占比高达85.8%, 即时通信、旅游预订、网购、支付等应用稳步提升, 由此对运营商带来了巨大的网络压力。

然而, 移动互联网用户时常会出现在网络信号满格、数据业务链接显示正常的情况下无法打开网页、流媒体业务卡顿、下载文件停滞等现象, 从而产生对网络的抱怨和投诉。而运营商接到类似投诉后, 从现有的网络侧指标和设备告警方面又未发现异常, 从而对该类问题的处理或提前发现显得束手无策。

收稿日期: 2015-04-03

责任编辑: 刘妙 liumiao@mbcom.cn

所以，构建移动宽带客户感知的分析手段和评价体系对于运营商而言就显得尤为重要和迫切了。

2 移动宽带和用户感知的定位

2.1 移动宽带的概念

移动宽带就是指宽带移动互联网，由于2G网络PS业务的受限，移动宽带仅指3G和4G的移动网络，而用户的体验也主要针对3G/4G手机用户在使用互联网过程中的感受。

语音、网页浏览、流媒体业务、邮件、文件访问等五大类典型业务是业内普遍认为的移动宽带业务。

2.2 移动网客户感知的概念

用户感知是用户的实际体验，通俗来讲就是人们使用移动业务过程中的心理感受。常用的用于量化用户体验的指标有以下几个：

(1) KQI (Key Quality Indicators)：移动网络的关键质量指标。业内提出QoS (服务质量) 的概念是对约定业务或应用服务的表征描述，如时延、带宽、连续性、抖动等。而最为常见的就是针对使用业务或应用的业务质量作为评价体验的一种和网络指标对应的指标体系。KQI其实是一组可以被测量和监控的QoS参数，是一种通过网络侧进行量化的“KPI”。

(2) QoE (Quality of Experience)：指用户对设备、网络和系统、应用或业务的质量和性能 (包括有效性和可用性等方面) 的综合主观感受，是通过业务应用的舒适度进行定义的。QoE是用户对QoS的主观度量，是用户对某种业务/应用的主观感觉，如语音图像的清晰度和连续性、收发文件的快慢等。

(3) CEI (Customer Experience Indicators)：实时测量用户体验以及定义用户体验的指标，是反映QoE级别的关键指标，着眼点是用户，与用户行为相关。KQI仅仅是业务层面的关键指标，是不同业务/应用的质量参数，针对CEI的分析是提升移动宽带客户实际感知和优质体验的关键因素。

3 建立基于语音的网络质量综合评价体系

提升网络质量是基于网络侧的运行质量指标进行

分析，对异常问题进行判定和处理，从而达到提升网络性能的目的。通常围绕KPI、用户投诉、DT、CQT等开展。

(1) KPI (Key Performance Indicators) 即网络性能关键指标，是运营商最关心的指标之一。运营商将关键指标当作评估标准，以是否达到标准作为评价工作质量的重要条件。运营商均制定了全网及小区级的KPI体系，对网络指标反映的问题进行处理，确保了网络的良好运行。

(2) 用户投诉：用户投诉信息一直是运营商认为最贴近用户实际感受的数据来源。建立基于用户投诉的分析系统，对用户网络质量类的投诉进行地理化显示和分析定位，根据问题类型区分为建设、维护、优化等类型，建立闭环管理流程。

(3) DT&CQT分析：通过路测设备、用户感知系统等开展海量测试，模拟用户的行为，发现现网中存在的问题并进行处理。

网络质量综合评价体系示意图如图1所示：

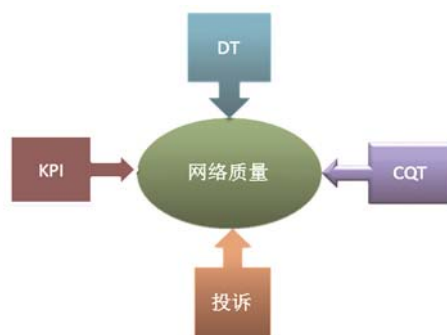


图1 网络质量综合评价体系

运营商在语音时代已经建立了以KPI、DT、CQT及用户投诉4个方面的综合质量分析体系，实现网络性能的提升。以上4个方面的指标都可以用KPI来体现，网络质量评价体系是运营商长期积累的重要内容。对于网络侧的性能提升起到了十分重要的作用，可以说是评价网络质量好坏的关键性标准。

随着移动互联网的到来，用户在传统语音需求的基础之上，对于网页浏览、流媒体业务、邮件、QQ、微信等业务性能的关注愈来愈多。目前运营商针对业

务实际接入人类体验、流畅体验缺少评价手段，虽然近年来引入了MR数据分析，但基于业务的分析能力依然受限。具体表现就是在狠抓KPI的情况下，对于用户实际体验方面获取的信息十分有限，从而产生了运营商的网络KPI指标十分好看，而用户对于业务体验方面的抱怨很多的非对称现象。

4 构建基于移动网用户业务体验的评价体系

4.1 建立用户体验与KQI的对应关系

围绕各种业务类型，建立用户体验与KQI的对应关系，针对不同的业务，用户所关心的体验内容是不同的，具体如表1所示：

表1 不同业务类型对应的KQI指标

业务类型	用户体验	KQI类型	KQI指标
网页浏览	网页能否打开	接入性	网页响应成功率
	网页是否开始显示		网页响应时延
	网页是否完全打开	完整性	网页显示成功率
	网页打开所用时长		网页显示时延
	看到点击内容所用时长		网页下载速率
流媒体业务	点击视频后，是否开始缓冲	接入性	流媒体打开成功率
	缓冲多久开始播放		流媒体缓冲时延
	视频点播中是否有掉线	完整性	流媒体完整播放率
	流媒体播放是否流畅		视频下载速率
邮件/QQ/微信/微博	邮箱能否打开	接入性	业务响应成功率
	打开邮箱所用时长		业务响应时延
	邮件文件浏览或下载时长	完整性	邮件业务下载速率
	邮件发送成功率		发送失败率
	邮件发送所用时长		发送时延
文件访问	点击目标文件是否开始打开	接入性	文件响应成功率
	打开文件的响应时长		文件响应时延
	文件浏览或下载时长	完整性	文件下载速率
	文件下载过程中是否有中断		文件下载成功率

4.2 构建移动网用户业务体验的评价体系

CEI是多个KQI指标组共同反映用户感知的综合评价指标。在众多KQI指标中，经过研究和分析可知，时延、成功率和业务速率是用户业务感知体验的三大要素。

把除语音业务外的其他4种类型业务的时延、成功

率、业务速率按照主观感知设置为好、较好、一般、较差和差5个等级，分别赋予5~1分进行评判，同时设置各等级的KQI门限指标，对各业务进行评价。

业务CEI得分=权重A×时延维度+权重B×成功率维度+权重C×业务速率维度 (1)

端到端各维度评价标准如表2所示：

表2 端到端各维度评价标准

主观感知评价	分值	端到端时延/s	端到端成功率/%	端到端业务速率
好	5	2	92	2Mbps
较好	4	3	85	1Mbps
一般	3	5	80	700kbps
较差	2	6	70	300kbps
差	1	7	65	150kbps

根据分析和抽样，时延维度的权重A为35%、成功率维度的权重B为35%、业务速率维度的权重C为30%。根据不同时期各维度的重要性，可以微调各部分权重。

移动宽带业务用户体验CEI得分=多用户多业务的用户体验CEI得分均值=AveΣ（时延+成功率+业务速率） (2)

最高得5分，最差得1分，以4分作为评价良好体验的阈值。

以流媒体业务为例，多用户流媒体业务缓冲平均时延为3s，流媒体打开成功率为98%，视频下载速率为1.5Mbps，那么针对流媒体业务的用户体验CEI得分如式（3）所示：

流媒体业务的用户体验CEI得分=4×35%+5×35%+4×30%=4.35分 (3)

由式（3）可知，整体该业务的体验得分为4.35分，属于较好水平。

通过CEI的评估可以单个评价某种典型业务的实际体验，也可以实现对多业务的综合评价，既可以对全网用户进行评价，也可对重点客户进行评价。

5 建立以网络质量评价为基础的用户感知综合评价体系

单纯通过网络质量评价体系不能体现用户的实际

感知，但完全基于用户业务体验评价体系是否就能解决所有的问题呢？

笔者认为，不能单纯地从业务体验指标入手，那样会掩盖网络侧的部分问题，一旦网络质量性能指标恶化到一定程度，业务质量将无从谈起。网络质量是所有运营的基础，无论移动网络发展到何种地步，基于KPI的网络质量都是不能忽视的。

所以，移动网用户感知综合评价体系必须建立在网络质量评价和综合业务评价的基础之上。用户感知综合评价体系如图2所示：

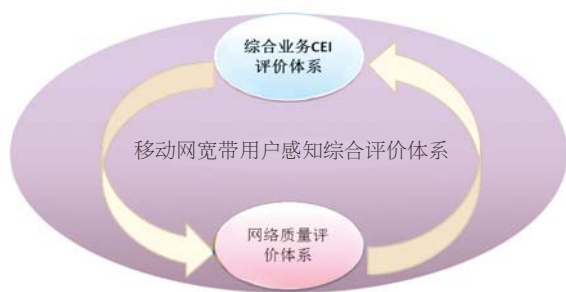


图2 用户感知综合评价体系

5.1 选取粒度

重点客户C：选取高ARPU用户（最多到全网）。

重要场景S：选取业务量高的重要场景（最多到全网）。

重要时段T：选取各业务实际忙时（最多到全时段）。

5.2 KPI评价内容

围绕网络性能选取重要的指标作为评价内容，例如覆盖率、质量分布、质差小区等，不同阶段可以进行调整。KPI评价内容如表3所示。

5.3 客户投诉评价内容

结合投诉，将投诉率、投诉数量或者用户满意度等纳入评价内容，不同阶段也可进行调整。客户投诉评价内容如表4所示。

5.4 网络综合评价得分=30%×KPI+50%×KQI+20%用户投诉

通过综合评价网络中的重要场景或对全网进行综合

表3 KPI评价内容

评价内容	达标率/%	分值	得分	来源
良好覆盖率	95	1.5	达到达标值得满分，每低于1%，扣0.1分，线性扣分。	MR/DT测试
良好质量分布	90	1.5	达到达标值得满分，每低于1%，扣0.1分，线性扣分。	MR/DT测试
WCDMA移动网业务掉话率	0.3	0.5	达到达标值得满分，每低于1%，扣0.1分，线性扣分。	网优平台
WCDMA无线网络接通率	95	0.5	达到达标值得满分，每低于1%，扣0.1分，线性扣分。	网优平台
3G切2G高小区比例	0.5	0.5	达到达标值得满分，每低于1%，扣0.1分，线性扣分。	网优平台
WCDMA问题小区比例	0.5	0.5	达到达标值得满分，每低于1%，扣0.1分，线性扣分。	网优平台

表4 客户投诉评价内容

评价内容	达标值	分值	得分	来源
网络质量投诉率	5次/万人	3	达到达标值得满分，每高于1次，扣1分，线性扣分。	客服支撑系统
百基站投诉数量	1次/百站	2	达到达标值得满分，每高于1次，扣0.5分，线性扣分。	客服支撑系统/网优平台

评估，同样可以按5分计算，设置成1~5级的网络评价等级，用于衡量移动网络在用户体验方面的优劣程度。

按照网络综合评价得分情况可以针对一个本地网或者一个网格进行评价排队，对低于4分的网络需进行重点关注和分析。

6 用户感知综合评价体系的应用

建立基于用户感知的综合评价体系，不仅可以评价基于业务的用户感知等级，更重要的是可以及时发现网络的短板并进行处理。通过各维度的得分情况，开展针对性的分析，从而实现对移动网络问题的精准定位。

用户感知综合评价体系应用的好坏，需要不断地对评价内容的权重和门限进行优化调整，同时需要构建闭环的问题处理流程，强化问题的实际落地，提升响应能力。只有这样才能真正地站在用户感知的角

度，不断提升用户的满意度。

案例：在进行用户感知综合评价时发现某一区域综合得分为3.9分。通过分析发现其他维度得分正常，而针对网页的下载速率CEI得分为3.2分，从而导致该区域综合得分低于4分。网优工程师将该区域的多用户页面下载速率进行汇总分析，发现该区域下的某基站5个扇区的下载速率较差，具体如图3所示：

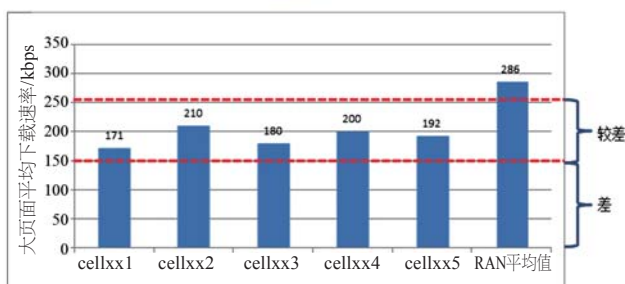


图3 优化前异常指标示意图

对该基站忙时段176个用户1 217次低速率异常话单进行分析发现，RAN侧原因的占比超过60%。针对该RAN进行统计，平均下载速率仅为286kbps。通过排查，“HSDPA IUB带宽受限”导致的关联次数能够占到85%以上。最终将该基站IUB传输扩容，新增30M FE，解决IUB拥塞问题。该站点的5个小区的大页面下载平均速率提升了45%，问题得到解决。实际效果如图4所示：

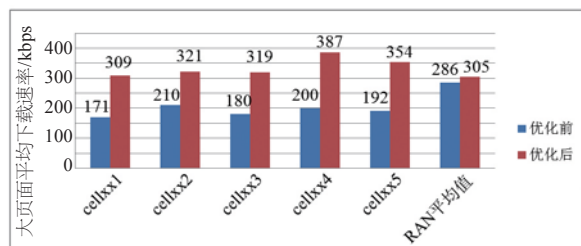


图4 优化前后对比示意图

7 结束语

KPI是基础，用户投诉是对网络满意度的体现，KQI是用户感知的表现。通过基于移动宽带客户感知的分析与研究，建立了移动宽带客户感知综合评价模型，

梳理了影响用户实际体验的CEI体系。结合基于网络性能的评价体系，建立并完善了问题处理流程和考核评价体系，为持续提升客户感知奠定了坚实的基础。

下一步将利用海量的网络及业务数据，通过大数据分析，支撑客户维系、客户流失分析等精细化运营，持续深化和钻取用户体验的数据支撑能力，为市场发展和后向业务经营方面的探索提供手段。

参考文献：

- [1] 中国互联网信息中心（CNNIC）. 第35次中国互联网络发展统计报告[R]. 2015.
- [2] ITU-T G.1011(G.RQAM). Reference guide to QoE assessment methodologies[S]. 2009.
- [3] 华为技术有限公司. 中国联通精品网方案汇报[R]. 2014.
- [4] 中国联合网络通信集团有限公司. 中国联通2013年移动网络优化重点工作要求[R]. 2013.
- [5] 中国联合网络通信集团有限公司. 中国联通DC-HSDPA网络优化指导意见[Z]. 2014.
- [6] 中国联通上海市分公司. 基于业务质量和大数据挖掘支撑存量经营[Z]. 2014.
- [7] 中国联合网络通信集团有限公司. 2014年运维专业线考核指导意见[Z]. 2014.
- [8] 华为技术有限公司. 河南联通业务质量KQI体系建立及应用[R]. 2014.
- [9] 中兴通讯股份有限公司. 基于用户感知的指标体系及建模评估[R]. 2014.
- [10] 3GPP2 S.R0079-0. Support for End-to-End QoS[S]. 2004.★

作者简介



李治国：工程师，硕士毕业于北京邮电大学，现任中国联合网络通信有限公司河南省分公司网络优化中心副总经理，长期从事移动网络优化规划与性能研究工作。